FUTURE TRANSPORTATION FUELS

ALCOHOL FUELS

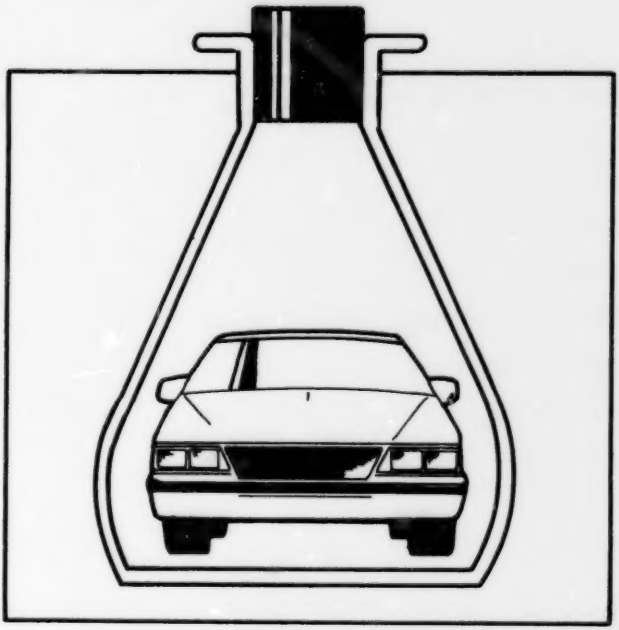
Canada

87-00616/

FUTURE TRANSPORTATION FUELS
ALCOHOL FUELS

TABLE OF CONTENTS

Introduction	3
What Are Alcohol Fuels?	4
History of Alcohol Fuels	5
How Are Alcohol Fuels Produced?	7
Alcohols as Transportation Fuels	17
Alcohol Fuels around the World	26
The Future of Alcohol Fuels in Canada	29
Glossary	31



ALCOHOL FUELS

INTRODUCTION

For most people, the word alcohol conjures up thoughts of beverages. After all, wine, beer and spirits, which contain ethyl alcohol (ethanol), have been popular drinks for thousands of years. Few people realize that there are a number of different types of alcohol, with a wide variety of uses. This book reviews the history, production and use of alcohols as vehicle fuels.

Of the group of chemicals known as alcohols, the most interesting from the transportation viewpoint are methanol and ethanol. These alcohols can be used

- as fuels — vehicle engines can be modified to run on pure alcohol;
- as fuel extenders — alcohols can be blended with gasoline to extend conventional fuels; and
- as octane enhancers — alcohols have much higher octane numbers than gasoline.

At present, Canada's transportation system uses fuels predominantly derived from oil. As supplies of crude oil decrease, the need for alternative fuels will increase. Alcohols are attractive alternatives for several reasons.

- They are compatible (with some modifications) with the existing vehicle fuel distribution network.
- They resemble gasoline in physical properties and in convenience of use.
- They can be produced from domestic resources — methanol from natural gas, coal and wood, and ethanol from plant material or biomass.
- In general, alcohol fuels are less polluting than conventional fuels.

WHAT ARE ALCOHOL FUELS?

Methanol and ethanol are only two of a series of organic compounds called alcohols. Chemically, alcohols are distinguished by the fact that they contain the hydroxyl group — an atom of oxygen bonded to an atom of hydrogen. Because all alcohols contain oxygen as well as carbon and hydrogen, they differ from conventional transportation fuels such as gasoline and diesel. These fuels, known as hydrocarbons, contain carbon and hydrogen but not oxygen.

When an atom of oxygen is added in a particular way to a hydrocarbon molecule, an alcohol molecule is produced. Each alcohol is named according to its parent hydrocarbon — adding an oxygen atom to methane yields methanol, to ethane yields ethanol, etc. We can use chemical shorthand to show how this works; in this shorthand, C stands for carbon, H for hydrogen and O for oxygen:

CH_4	+	O	→	CH_3OH
methane		oxygen		methanol
C_2H_6	+	O	→	C_2H_5OH
ethane		oxygen		ethanol

The individual characteristics of each alcohol differ because of their varying chemical structures. Methanol, the simplest alcohol, contains only one carbon atom; cholesterol, a much more complex alcohol, contains 27. As we shall see in the following chapters, the simplest alcohols, methanol and ethanol, are useful fuels, like that familiar mixture of complex hydrocarbons we call gasoline.

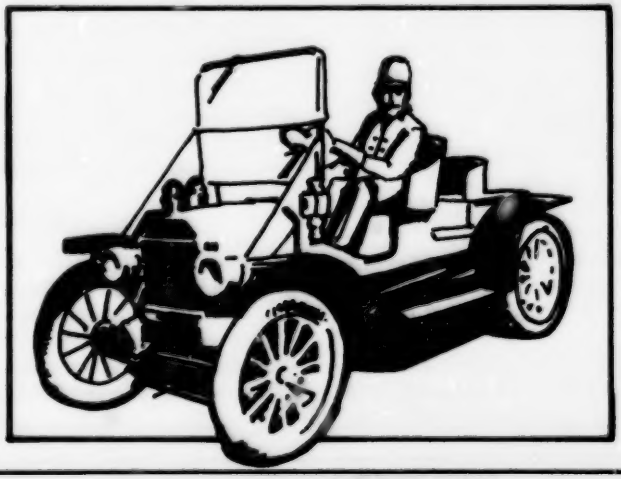
HISTORY OF ALCOHOL FUELS

Alcohol is one of the oldest commodities known. Virtually all civilizations since earliest times have fermented fruits, vegetables and grains to produce ethanol for human consumption. In the nineteenth century, both ethanol and methanol were used as fuels. Ethanol became a popular fuel for lighting around 1830, when it replaced malodorous fish and whale oils, and in the middle of the century methanol produced from wood was used in France for heating, lighting and cooking.

Although we tend to think of the automobile as having been powered by gasoline throughout its history, in the early days several types of fuel, including alcohols, were tried. Henry Ford designed the Model T to run on ethanol and only later, when petroleum-derived gasoline became more plentiful, did he adapt Ford vehicles to use it. Other early American autos had dual-fuel capability, which allowed them to use either gasoline or ethanol.

Some countries brought in legislation to encourage the use of ethanol. In 1906, for instance, the United States Congress passed the Industrial Denatured Alcohol Act, which removed the tax from alcohol used for industrial purposes. After World War I several other countries followed suit. As early as 1907, a mixture of ethanol and gasoline was tried in France and this fuel, later termed 'gasohol', became popular in the United States in the 1920s as a farm fuel. But better petroleum-refining techniques led to better quality, cheaper gasoline and to a corresponding decline in the popularity of gasohol until

Henry Ford originally designed the Model T to run on ethanol.



the Depression. At that time, an excess of agricultural produce in both Europe and the United States, combined with a fear of a depletion of petroleum resources, led to the promotion of ethanol as a motor fuel extender. In addition, the advent of Prohibition caused a glut on the American grain market and left many small distilleries looking for new markets.

In the period between the two world wars, both methanol and ethanol were used as vehicle fuels — methanol as a 'neat' fuel, and ethanol in blends with gasoline. In 1938, there were 9000 cars in Europe running on methanol produced from wood chips. Many European and South American countries required that ethanol be added to gasoline in order to conserve imported crude oil.

After World War II, alcohol fuels were overshadowed by readily available petroleum-based gasoline and diesel fuel. Sugar-producing countries such as Brazil occasionally added ethanol produced from surplus sugar to gasoline, and methanol remained a popular fuel for high-performance racing cars, but otherwise alcohol fuels were largely forgotten until the oil crises of the 1970s.

In the past 10 years there has been a resurgence of interest in alcohol fuels. As we shall see in the following chapters, both methanol and ethanol have the potential to extend and eventually even replace petroleum fuels.

HOW ARE ALCOHOL FUELS PRODUCED?

Canada is blessed with abundant raw materials for making alcohol fuels. Since different techniques are used to produce methanol, ethanol and other alcohols, we will look at them individually.

Methanol

Methanol can be manufactured from almost any energy source — wood, coal, oil and even municipal waste. An equally wide variety of processes, each with its own advantages and disadvantages, can be used to produce it.

Destructive Distillation

In the eighteenth and nineteenth centuries, methanol was produced from wood using a technique called destructive distillation. Wood was heated in a closed container until it decomposed chemically into new substances, which were then collected separately. One of these substances was wood alcohol or methanol.

Destructive distillation is an inefficient and cumbersome technique, however, and is no longer used. Most modern methanol plants use synthesis gas instead. In Canada today synthesis gas is obtained from the steam reforming of natural gas.

Catalytic Steam Reforming

In this process, natural gas is first combined with steam with the aid of a nickel catalyst. (A catalyst is a substance that helps a chemical reaction along but usually remains unchanged itself.) Chemical shorthand shows what happens in this particular reaction.

$$\underset{\substack{\text{methane}\\\text{(the main component of natural gas)}}}{CH_4} + \underset{\substack{\text{water}\\\text{(steam)}}}{H_2O} \rightarrow \underbrace{\underset{\text{carbon monoxide}}{CO} + \underset{\text{hydrogen}}{3H_2}}_{\text{synthesis gas}}$$

The resulting synthesis gas is a mixture of carbon monoxide and hydrogen, with some carbon dioxide. These gases can be reacted under pressure with the help of another catalyst to form methanol.

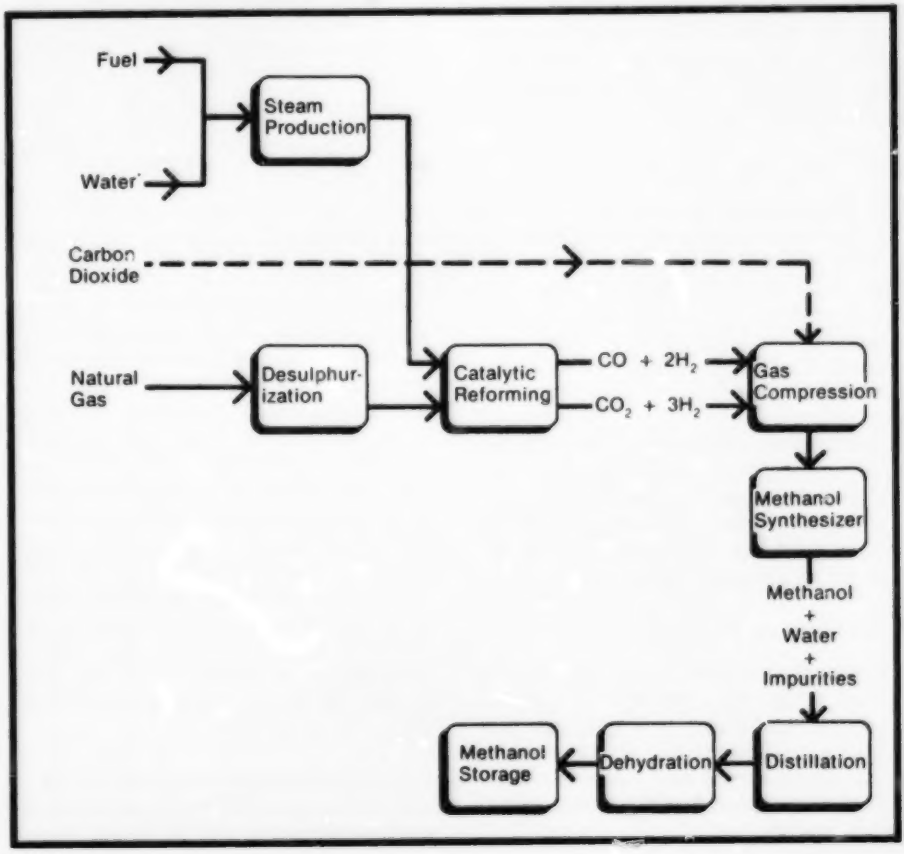
$$\underset{\text{carbon monoxide}}{CO} + 2H_2 \rightarrow \underset{\text{methanol}}{CH_3OH}$$

Coal and Biomasss Gasification

Natural gas is the source of virtually all the synthesis gas produced in Canada at present because of our large supplies of relatively cheap gas. However, coal, wood and agricultural or municipal wastes can also be used to produce synthesis gas using a different process. These solid fuels are shredded or pulverized and then heated to high temperatures in a restricted amount of oxygen. Once again a synthesis gas consisting mainly of carbon monoxide and hydrogen is produced. However, the gas usually contains oils, tars and unwanted gases that must be removed before it can be used to produce methanol. Once a clean synthesis gas has been obtained, it is compressed and then passed over a catalyst to convert it to methanol.

Methanol-from-coal technology is of special interest to the United States, which is particularly rich in coal. In Canada, there

Steam reforming of natural gas to methanol. First, sulphur is removed from the gas, as sulphur could disable the catalyst. The desulphurized feedstock is then catalytically reformed to produce synthesis gas. Extra carbon dioxide can be added to balance the ratio of carbon and hydrogen. The reformed gases are compressed and passed over catalyst beds to form crude methanol, which is then distilled and dehydrated to remove water and impurities.



is also strong interest in methanol from wood because of the large supply of mill wastes and forest residues, and the potential to produce even more biomass from tree plantations. At the moment, wood gasification is still in the developmental stage and biomass feedstocks are more expensive than natural gas. Further research is needed to improve the energy efficiency and the economics of this process.

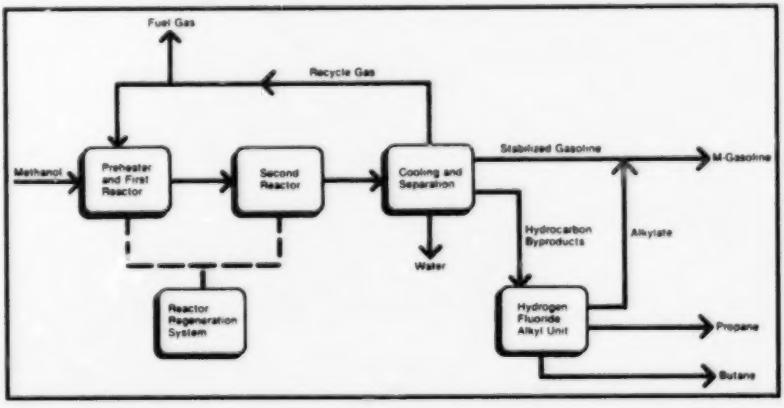
Hybrid Processes

To produce the maximum amount of methanol for the minimum cost requires a synthesis gas with the right ratio of carbon monoxide to hydrogen. Because natural gas is a very light hydrocarbon, with four hydrogen atoms for every carbon atom in its molecule, the synthesis gas produced by reforming natural gas contains too much hydrogen. On the other hand, the gas obtained from coal and biomass generally contains too much carbon. Synthesis gas produced from any of these feedstocks must be reacted with steam in a 'shift reactor' to shift the ratio of carbon monoxide and hydrogen closer to the optimum ratio before methanol production can take place.

The obvious solution is to combine the two feedstocks in a hybrid process — natural gas reforming plus gasification of wood or low-grade coal. Not only does this hybrid process produce a more suitable mixture of carbon monoxide and hydrogen and eliminate the need for a shift reactor, but it also yields about 25 per cent more methanol from a given amount of feedstock than can be produced from either of the two processes used separately. At present, steam reforming of natural gas is the most economical way to produce methanol but improvements in the economics of the gasification stage may well increase the attractiveness of hybrid processes in the future.

The Mobil M-Gasoline process. The Mobil process is a two-stage process using different catalysts in the first and second reactors. The process works at a high temperature (400°C) and pressure (2000 kPa); the temperature is maintained by recycling hot gases back to the first reactor. The gas emerging from the second reactor is cooled and separated into gasoline and hydrocarbon by-products such as olefins. These are upgraded to alkylate, which is then blended into the gasoline to improve its octane level. Besides producing M-Gasoline, the process also yields propane and butane.

The catalysts from the reactors are regenerated so that they can be used again. Only two sets of reactors are shown in this diagram; in practice, multiple sets are used so that the catalyst can be regenerated in one set of reactors without disrupting the throughput of the M-Gasoline plant.



Methanol Production around the World

Current world production of methanol is about 20 billion litres. However, world production capacity is much greater than demand and requirements for chemical methanol — virtually the only present use — are not expected to exceed 3 per cent growth per year.

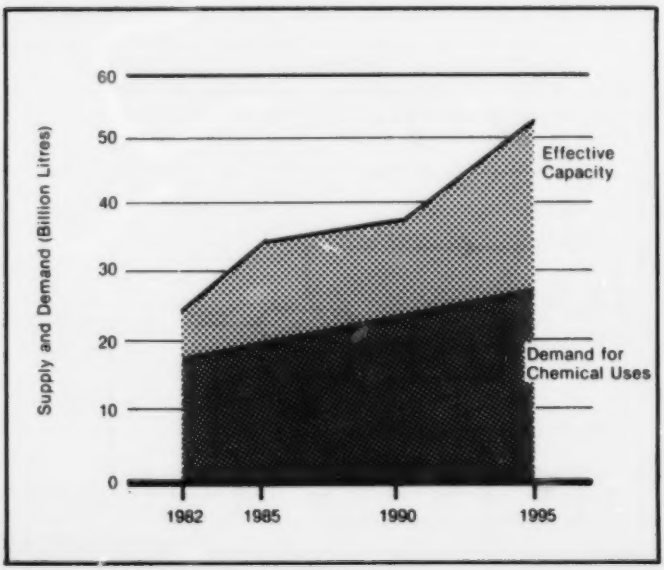
Meanwhile, world methanol production is expected to increase dramatically. Oil-producing countries in the Middle East, which used to flare (burn off) the natural gas produced along with oil, are now building large plants to produce methanol. As this production increases, Canada, which is currently one of the world's largest exporters of methanol, may find it more difficult to sell methanol internationally. Because of this, and because Canada has large natural gas reserves that could be used to produce methanol, the prospect of using methanol domestically as a transportation fuel is increasingly attractive.

USING METHANOL TO MAKE OTHER FUELS

As well as being a useful fuel on its own merits, methanol can also be used to produce other fuels and chemicals.

- In the mid-1970s, the Mobil Oil Company developed the M-Gasoline process, which converts methanol directly to gasoline with the help of special catalysts. The first commercial plant using this process is located in New Zealand; it uses methanol produced from that country's substantial reserves of natural gas.
- In Germany, researchers have developed a process for making diesel fuel from methanol.
- Methanol can be used to make methyl tertiary butyl ether (MTBE), which can be mixed with gasoline to improve its performance.

Global methanol supply and demand. There is considerable surplus methanol capacity above and beyond the demand for chemical uses; this methanol could potentially be used for fuel. The global surplus is expected to increase as Middle East methanol plants come on-line.



Ethanol

There are two ways to produce ethanol: hydration of ethylene and fermentation of sugars. At present, most industrial ethanol in Canada is produced from ethylene and beverage ethanol is produced by the fermentation process.

Ethylene Hydration

As we have seen, the main component of natural gas is methane, which can be used to make methanol. But natural gas contains other gases as well, one of which is ethane. Ethane can be converted via pyrolysis to produce ethylene, which can then be used to produce ethanol.

Ethanol is produced from ethylene through a chemical reaction known as hydration, which means 'to add water'. In the most common process, ethylene gas is combined with water, heated to the desired reaction temperature (250°C - 300°C) and passed through a reactor containing a catalyst such as phosphoric acid. The chemical reaction that takes place is shown in the following shorthand:

C_2H_4	+	H_2O	+	heat	→	C_2H_5OH
ethylene		water			catalyst	ethanol

Ethanol is only one of many products that can be produced from ethylene, however. There is a great demand for ethylene in the plastics industry, where it is used for the manufacture of polyethylene and polyvinyl chloride. Thus ethanol for transportation uses is more likely to be produced by fermentation.

Fermentation

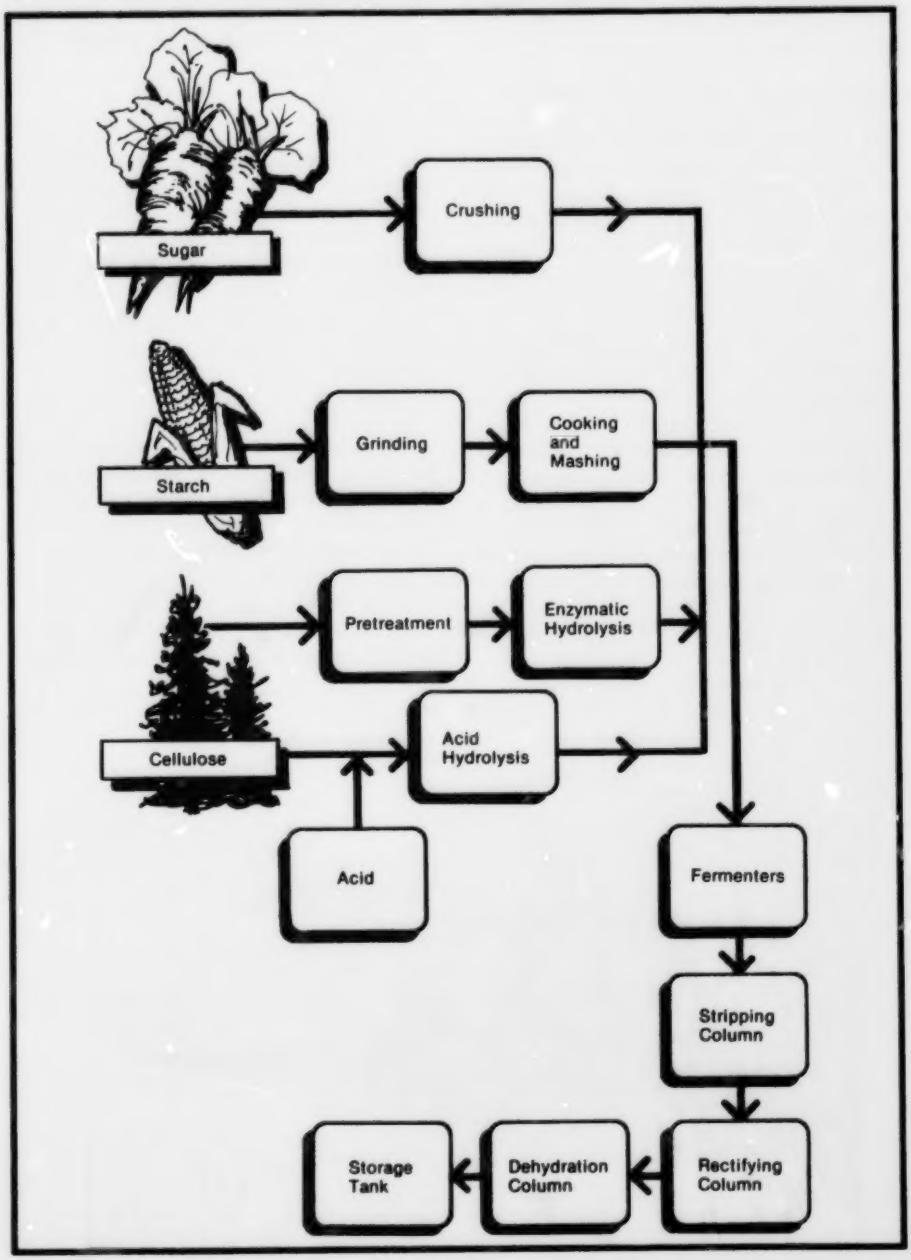
Fermentation is one of the oldest chemical processes known. A living microorganism, usually a yeast, is used to metabolize sugar molecules into ethanol and carbon dioxide. In chemical shorthand, the reaction looks like this:

$C_6H_{12}O_6$	→	$2C_2H_5OH$	+	$2CO_2$	+	heat
glucose (a simple sugar)		ethanol		carbon dioxide		

Sugar belongs to the group of substances known as carbohydrates. All carbohydrates are formed from living matter and all contain carbon, hydrogen and oxygen. There are a number of different carbohydrates, which vary in chemical complexity and in their properties. The most important carbohydrates from the point of view of ethanol production are sugar, starch and cellulose.

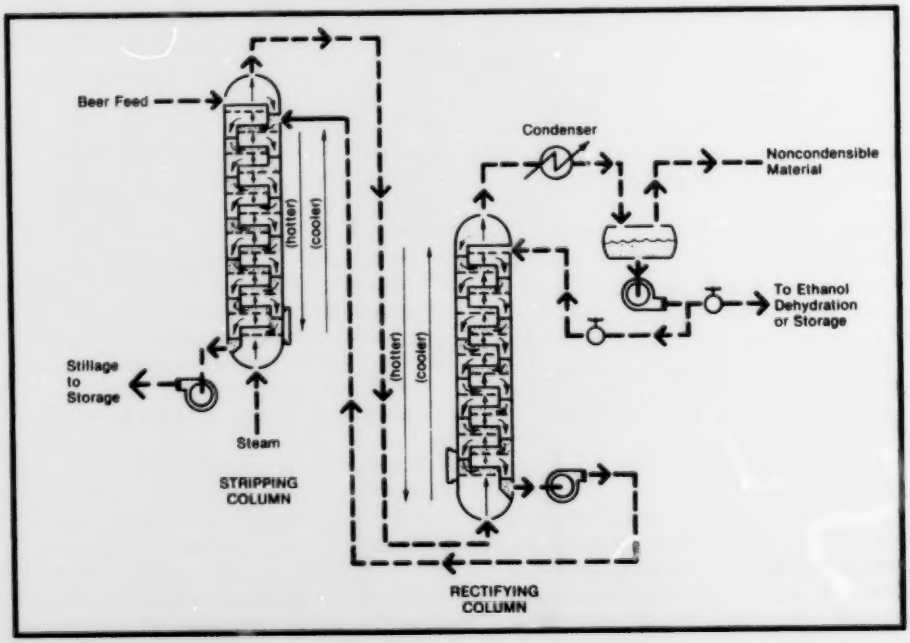
Corn is one source of starch for ethanol production.

Ethanol production. Four main steps are involved: (1) the feedstock is first treated or processed to produce a sugar solution; (2) microorganisms convert the sugar to ethanol and carbon dioxide via fermentation; (3) ethanol is removed from the fermentation solution by distillation; and (4) remaining water is removed.



- *Sugars* are simple carbohydrates, many of which can be directly fermented by microorganisms such as yeasts. Hexose sugars (those containing six carbon atoms) are fairly readily fermented, although some microorganisms are selective about which hexoses they can ferment. Pentose (five-carbon) sugars can be fermented by only a very few species of microorganisms. Sugar cane and sugar beets are the most common sources of fermentable sugars.
- *Starch*, which occurs in cereals and root crops, is a more complex carbohydrate than sugar. Its molecules contain a large number of carbon, hydrogen and oxygen atoms arranged in a complicated way, which prevents yeasts from fermenting starch directly. The molecules must first be chemically or biochemically split into simpler sugar molecules. In order to do this, a starch-containing crop is pretreated by milling or crushing to expose the starch. The starch is then hydrolyzed (a chemical term meaning 'to split apart and add water') using one of two methods. Traditionally, enzymes — biological substances that act in much the same way as catalysts — are added, but it is also possible to use a dilute acid to hydrolyze the starch.
- *Cellulose* is an extremely complex carbohydrate found in plant tissue. It is designed by nature to provide plants with strength and rigidity and, as a result, is very difficult to break down. Not only are the cellulose molecules themselves very complex, but they are tightly bound to another structural substance called lignin, which is not a carbohydrate and is not fermentable. There are currently two main approaches to breaking down cellulose: either the cellulose-lignin structure is attacked with acid, or the cellulose is pried away from the lignin using a powerful pretreatment process, and is then hydrolyzed by enzymes or acid in much the same way as starch. Ongoing research into these processes is discussed later in this section.

A conventional distillation system.



Fermentation produces a liquid (commonly called beer) containing from 8 to 12 per cent ethanol. The ethanol is then removed from the fermentation solution by distillation, a process of separating liquids on the basis of their different boiling temperatures.

A simple conventional distillation system is shown in the accompanying diagram. It consists of two columns divided into a number of sections by perforated trays called sieve plates. In the example shown, ethanol is stripped from the beer in the stripper column and concentrated in the rectifying column.

Beer entering at the top of the stripper column is vaporized by steam rising through the column. Since pure ethanol boils at a lower temperature than water (78°C versus 100°C), more ethanol than water tends to burn off. Thus the vapours rising into the rectifying column are higher in alcohol content than the original beer and the unvaporized portion of the beer is lower in alcohol.

As the unvaporized beer flows down the stripper column under the force of gravity, more and more of its ethanol is boiled off or stripped by the rising steam. By the time it reaches the bottom of the beer column, it contains virtually no alcohol.

Meanwhile, the alcohol content of the vapours boiled off increases as they rise through the rectifying column, in which each sieve plate is cooler than the one below it. Since water requires a higher temperature to stay vaporized than does ethanol, the water condenses out first. By the time the vapours reach the top of the rectifying column, nearly all the water has been removed.

The system described above is a very simple one; distillation equipment in commercial alcohol plants may incorporate a variety

Sieve plates in a conventional distillation column. The flow of the fermentation solution over each plate is controlled by weirs to ensure proper contact between the down-flowing liquid and the rising vapours.

Canada has vast resources of wood and wood wastes that can potentially be used as alcohol feedstocks once an economical cellulose-to-ethanol process is developed.

of sophisticated modifications. However, even with the most sophisticated distillation equipment, the purest alcohol that can be produced is 95.6 per cent. The remaining 4.4 per cent is water and is impossible to remove by further distillation because water and alcohol form a constant boiling mixture (called an azeotrope).

To remove this final 4.4 per cent water, the alcohol mixture is passed through a dehydration column, containing a solvent such as benzene, cyclohexane or trichlorethylene. The solvent forms a separate azeotrope with the water at a temperature below the boiling point of ethanol. The solvent-water vapours are distilled out the top of the apparatus leaving pure, essentially water-free alcohol. For fuel and industrial uses, this alcohol is 'denatured' — rendered unfit for human consumption.

At present, fermentation ethanol tends to be more expensive than conventional fuels such as gasoline. Current research into improved continuous fermentation processes, more efficient microorganisms and fast-growing biomass feedstocks should help to improve the economics of this process.

Wood To Ethanol: Techniques and Prospects

Sugar- and starch-containing crops are obvious feedstocks for ethanol production because they are easy to prepare for fermentation. However they are not the only possible feedstocks; woody plants also contain carbohydrates that can, with more difficulty, be prepared for fermentation. In countries such as Canada where much of the land is forested, there is great interest in using wood and wood wastes as feedstocks for fermentation.

Wood contains two carbohydrates, hemicellulose and cellulose, that can be converted to fermentable sugars. Hemicellulose can be hydrolyzed fairly easily, but cellulose is more resistant. There are two major processes by which cellulose can be broken down into fermentable sugars. One uses acid, while the other relies on enzymes.

Acid Hydrolysis

Acid hydrolysis, which involves mixing wood with dilute sulphuric acid at high temperatures, is the first process that has been used commercially to any extent to produce fermentable sugars from wood. Plants of

this type operated successfully in Europe before World War II and until the 1950s but most were later forced to close because ethanol could be produced more economically from molasses and from ethylene. In the Soviet Union, however, there remain some 40 plants in operation.

The yield of sugars from the established acid hydrolysis process tends to be low because the acid destroys the less resistant hemicellulose and a significant proportion of the sugar produced from the cellulose. Also there is a large amount of waste left after hydrolysis — about 40 per cent of the original wood weight. This is chiefly in the form of a lignin byproduct, which has few uses other than as a low-grade fuel for heating.

A number of researchers are working to improve the acid hydrolysis technique, using two-stage processes and other approaches. However, other researchers favour the use of enzymes, which tend to be more specific and less destructive than acids. Also, current acid technology is more applicable to softwoods; steam treatment and enzymatic methods are more successful techniques for hardwoods.

Enzymatic Hydrolysis

In this process, cellulose is exposed to enzymes known as cellulases, which break it down into fermentable sugars. However, the cellulases cannot go to work until the cellulose has been opened up and made more accessible to enzymes through some sort of pretreatment process. Canadian researchers have pioneered a promising pretreatment process called steam explosion or steam cracking. As its name implies, the technique involves using high-pressure steam to open up the wood tissue to increase the penetration of the enzymes.

Once the cellulose has been made accessible by pretreatment, the cellulases break it down. Because enzymes are more selective than acids in terms of what substances they attack, enzymatic hydrolysis does not destroy the hemicellulose and lignin components of wood to the same extent that acid hydrolysis does. Sugar yields are higher and the leftover lignin can be used in the manufacture of a variety of commodities, including adhesives, particle board resins, fuels and chemicals.

At the moment, enzymatic hydrolysis is still in the developmental stage. Its commercial success will depend on whether the cost of producing the necessary enzymes can be sufficiently reduced, and whether markets can be found for the lignin and other byproducts. Canada is a leader in the development of enzymatic hydrolysis technology, and a number of Canadian researchers are working to make it a commercial reality.

ALCOHOLS AS TRANSPORTATION FUELS

Alcohols can be used as fuels either alone ('neat') or in combination with conventional fuels. In general when we refer to 'alcohol fuels' we mean methanol and ethanol. To understand how these alcohols work in vehicle engines, we must first look at how their properties compare with those of conventional fuels.

Characteristics of Alcohols as Fuels

As fuels, methanol and ethanol resemble gasoline more than diesel, and they have been used mainly as extenders or substitutes for gasoline. However, while there are similarities between alcohols and gasoline, there are also differences. In general, these differences are more noticeable when alcohol is used neat than when it is blended with gasoline.

Heating Value

One of the most important properties of a fuel is how much energy we can get from it. The heating value of alcohol fuels is lower than that of gasoline, so more alcohol is needed to provide the same amount of energy to a gasoline engine. The carburetor and fuel pump in an alcohol-burning engine must therefore be adjusted to increase the flow of fuel to the engine, and a larger fuel tank may be needed.

However, when alcohol-gasoline blends are burned in a conventional gasoline engine, a higher efficiency is obtained. This increase in efficiency compensates for most or all of the loss in heating value. No carburetor or fuel pump changes are needed for most commonly used blends (up to 10 per cent ethanol or 5 per cent methanol).

Fuel-Air Ratio

When a fuel is burned, a certain amount of air is needed for complete combustion. The ideal ratio of air to fuel is called the stoichiometric ratio. The stoichiometric ratios of alcohols are lower than for gasoline — in other words, less air is needed to burn a given amount of fuel. This means that the engine fuel jets must be adjusted to provide more fuel relative to a given amount of air when alcohols are used neat. Blends can be used in existing cars without changing the fuel jets, as there is only a slight change in the stoichiometric ratio.

Volatility

The volatility of a fuel is its ability to be vaporized. Unlike gasoline, which is composed of a number of molecular forms with boiling points ranging from 25°C to 220°C, an alcohol is composed of like molecules with a single boiling point. Since the boiling points of ethanol and methanol are higher than the lowest boiling point of gasoline, alcohols are not as volatile at low temperatures, and cold starting may be a problem with neat alcohol.

Heat of Vaporization

When a liquid is at its boiling point, a certain amount of additional heat — the 'latent heat of vaporization' — is needed to change the liquid to a gas. This heat of vaporization is higher for alcohols than for gasoline, so an alcohol engine runs cooler than a gasoline engine. While this can be an advantage — for example, it reduces the need for cooling fans — it can also contribute to cold starting problems.

HOW DOES A GASOLINE ENGINE WORK?

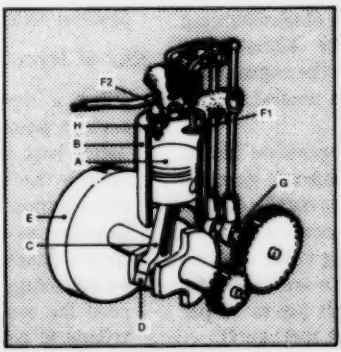
Gasoline or spark ignition engines work by igniting the fuel within each engine cylinder using a spark plug. Within certain tolerances, alcohol-gasoline blends can be used in this type of engine with no modifications to the basic operation described below.

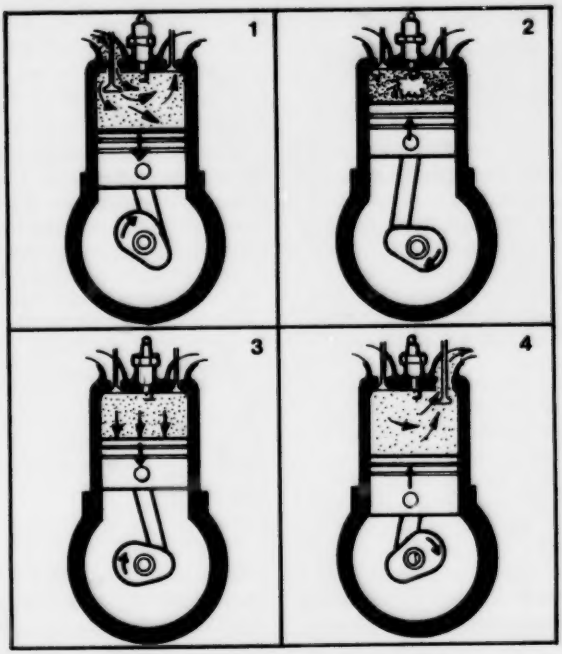
As the accompanying illustration shows, each cylinder contains a number of parts. At the top of the cylinder are valves and the spark plug. One valve is connected to the carburetor, which mixes gasoline with air to create a fuel vapour. This is the intake valve. The other valve connects with the exhaust system, the muffler and exhaust pipe through which combusted fuel products leave the cylinder.

The piston fits tightly within the cylinder below the valves. It is connected to a crankshaft by a connecting rod. As the piston moves up and down, this motion is translated by the connecting rod to create rotation in the crankshaft. This rotational force is transmitted to the wheels of the car.

As the engine runs, a series of events takes place in each cylinder. As the piston moves down, the intake valve opens and a mixture of gasoline vapour and air supplied from the carburetor moves into the cylinder(1). As the piston begins travelling upwards, the intake valve closes, sealing the cylinder. The fuel mixture is compressed and, near the top of this compression stroke, the spark plug fires, igniting the fuel(2). The rapid expansion of the burning fuel forces the piston down and the power created is transferred to the crankshaft through the connecting rod(3). As the piston again rises in the cylinder, the exhaust valve opens and burnt fuel is pushed out of the cylinder(4). Then the whole sequence begins again — intake, compression, combustion and exhaust. The piston travels up and down the cylinder twice in each cycle.

A gasoline engine. The piston (A), which slides up and down inside the cylinder (B), is connected by a rod (C) to the crankshaft (D) which, like a bicycle pedal, changes the up-and-down movement of the piston into a circular movement. A heavy metal flywheel (E) revolves with the crankshaft. The cylinder has two valves: an intake valve (F1) and an exhaust valve (F2). These valves are opened by smooth pieces of metal called cams, which are mounted on camshafts (G). The camshafts are geared to the crankshaft to move in step with it, each cam opening its valve once during the four strokes that the piston must make to complete one cycle. The spark plug (H) ignites the explosive fuel-air mixture at the correct moment.





The combustion cycle in a gasoline engine.

Octane Rating

Alcohols have higher octane ratings than gasoline. As the accompanying sidebar explains, this has implications for engine operation and design.

Corrosiveness

Alcohols are more corrosive than gasoline and will attack certain metals such as zinc, lead, magnesium and aluminum. Methanol tends to be more corrosive than ethanol — it is a strong solvent that will cause some plastics to swell or soften. This is not a problem as long as care is taken to ensure that alcohol engine components do not contain any of these susceptible materials. Materials compatibility is not a problem with most alcohol-gasoline blends.

Emissions

Combustion of alcohols tends to produce fewer emissions of hydrocarbons, carbon monoxide and nitrogen oxides than gasoline combustion and there is evidence that alcohol-gasoline blends can produce significantly fewer emissions when used in most vehicles. Methanol emissions have also been found to be less photochemically reactive than gasoline emissions. Alcohols do appear to produce higher emissions of aldehydes, but these can be regulated by pollution control devices such as catalytic converters.

Neat Alcohols

Neat alcohols cannot be burned in a gasoline engine unless modifications such as those described in the preceding section are made. In engines that have been modified to take advantage of their special characteristics, alcohols are powerful high-performance fuels.

Alcohol engines are more powerful than gasoline engines for several reasons. The higher octane ratings of alcohols permit higher compression ratios; this, in turn, allows more power to be developed from a given amount of fuel. Also, alcohol engines can

OCTANE RATINGS AND ALCOHOL FUELS

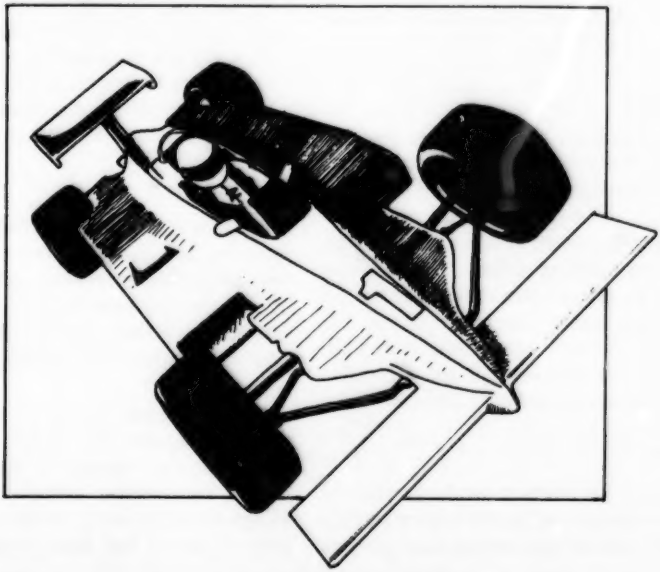
The octane rating of a fuel is a measure of its ability to resist premature ignition. As a fuel is compressed, heat is generated. If the fuel-air mixture in a spark ignition engine is compressed enough, it will ignite in the cylinder before the spark plug fires. Since such premature ignition can cause knocking and engine damage, a high octane rating is a desirable fuel characteristic.

Octane is one of the factors that refiners must take into account when blending various petroleum fractions to produce motor gasoline. It is more expensive to produce higher-octane fuel, because as the refiner adjusts some processes to increase the octane of a particular fraction, the yield of that fraction generally decreases. As a result, the operation of processes yielding high-octane gasoline blending fractions must be carefully balanced with all other refining processes. The refiner must produce a fuel with acceptable octane levels at the lowest possible cost without any fractions being left over.

Traditionally, refiners have resolved this dilemma by producing gasoline with a lower octane number and then adding lead compounds that act as octane enhancers and raise the octane rating. However, we now know that these lead compounds are very toxic, and lead is being gradually eliminated from Canadian gasoline in order to meet environmental regulations. Elimination of lead from regular gasoline would decrease its octane number by up to eight points, which would make it unacceptable for use in most engines. Refiners must therefore find other ways of raising the octane number of gasoline.

Since alcohols have high octane ratings, adding them to gasoline yields a blended fuel with a higher octane rating than regular gasoline. Blending alcohols with gasoline may be one way to help refineries meet octane goals in a way that is both efficient and environmentally acceptable.

Methanol has been a popular racing car fuel for years.



use a denser fuel mixture. Because alcohols have higher heats of vaporization, more heat is taken from the engine to vaporize the fuel and the engine runs cooler. Since the amount of space a gas occupies at a given pressure is directly proportional to the temperature, this means that the fuel-air mixture in an alcohol engine is denser than in a gasoline engine. With a denser fuel mixture, more fuel is ignited — and more power produced — with each stroke of the engine.

Of course, there can be disadvantages as well as advantages to using neat alcohol fuels. There is some evidence that the corrosive properties of alcohols (especially methanol) may lead to increased engine wear. Wear is thought to be the result of corrosion caused by acids formed during cold starting and during cool-down after stopping, when gases trapped in the cylinder react with condensed water. It may also result from poor lubrication caused by the presence of unburned liquid methanol. Wear is not likely to be a major problem, however; rapid warmup can help prevent acids from forming, and new engine oils are being developed to improve lubrication.

At present, the main disadvantage of using neat alcohol fuels is the fact that vehicle engines have to be modified to burn them, and an engine designed to burn alcohol cannot burn gasoline. Unless alcohol is readily available, drivers of alcohol-fuelled cars could have refuelling problems. On the other hand, until there is a sizable number of alcohol-fuelled vehicles on the road, fuel companies have little incentive to convert service stations to pump alcohol fuels.

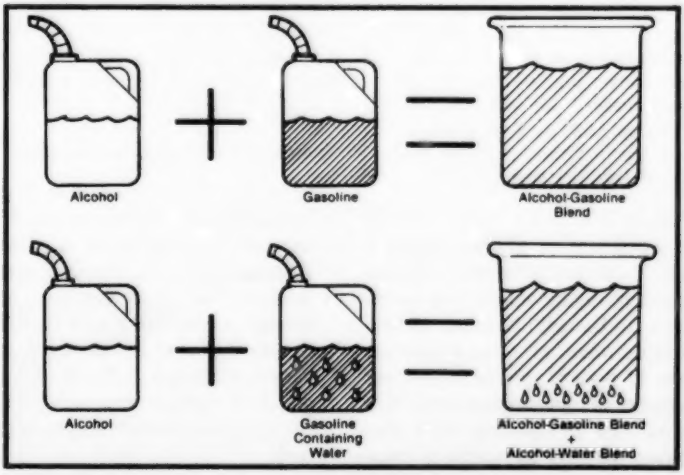
One way around this dilemma is to first introduce neat alcohol fuels in fleet operations, such as taxis, buses or government vehicles, which have their own fuelling systems. Another is to use alcohols in blends with gasoline.

Blends

Blends of up to 10 per cent ethanol with gasoline (commonly called gasohol) have been successfully used in gasoline engines for more than 50 years. The amount of methanol that a normal gasoline engine can tolerate is smaller — up to about 5 per cent. Methanol-gasoline blends also usually include special additives called cosolvents. These are added to prevent what is known as 'phase separation'.

Phase separation can occur if there is water present in the gasoline with which the alcohol is mixed. Alcohols mix with gasoline, but they mix more easily with water, so if there

Phase separation.



is water present, some of the alcohol will mix with it rather than with the gasoline. The result is a fuel that is divided into two forms or 'phases': alcohol-gasoline and alcohol-water. If not controlled, phase separation can result in increased corrosion and operation problems.

By and large, ethanol blends can tolerate the small amounts of water normally found in fuel tanks and distribution systems without separating. Methanol has a lower water tolerance, but as long as appropriate cosolvents are used methanol blends will not separate under normal conditions.

COSOLVENTS

Since it is almost impossible to avoid some water in fuel distribution systems, cosolvents must be added to methanol-gasoline blends to prevent phase separation. Common cosolvents include isobutanol, butanol, tertiary butanol, isopropanol and ethanol.

Cosolvents are currently obtained from petrochemical processing, but researchers are investigating ways of producing economically competitive butanol and ethanol by fermentation. It is also possible to coproduce other alcohols with methanol from synthesis gas derived from natural gas, coal or biomass. Coproduction is less expensive than independent production and produces a higher yield.

A variety of methanol-cosolvent-gasoline blends is being marketed in Canada, the United States and Europe. Blends that have proved successful in Canada in tests or commercial use include: 5 per cent methanol, 3 per cent ethanol and 92 per cent gasoline; and 4.75 per cent methanol, 4.75 per cent isobutanol and 90.5 per cent gasoline.

The main advantage of alcohol blends is that they provide a way to extend gasoline supplies without changing vehicle fuel distribution systems. In Canada, blending methanol with gasoline would allow us to use our large reserves of natural gas to extend our dwindling supplies of conventional petroleum. Methanol or ethanol for blending could also be produced from forest or agricultural crops or wastes, thereby creating jobs in regions far removed from the benefits of conventional energy production.

Alcohol blends have other advantages as well, stemming from the lower emissions and higher octane ratings of ethanol and methanol. Emissions from blends tend to contain fewer hydrocarbons and less carbon monoxide than emissions from regular gasoline; the reduction is proportional to the amount of alcohol in the blend. And since alcohols have high octane levels, adding them to gasoline yields a blended fuel with a higher octane rating than gasoline.

Higher blends (e.g., 20 per cent ethanol or 15 per cent methanol in gasoline) are being used or tested in a number of countries. At these higher levels, however, some modifications to the engine are necessary. Consequently high-level blends, like neat alcohols, are only practical if they are widely available (as in Brazil, where all gasoline sold contains 20 per cent ethanol) or if they are used in fleets that have their own refuelling facilities.

Alcohol Engine Research

As interest in using alcohol fuels grows around the world, researchers are working to design engines that will use the desirable characteristics of alcohol fuels (high power output, high octane rating) and minimize the undesirable features (low heating value, low volatility). Some of the areas being explored are improvements to cold weather starting and engines that run on several liquid fuels.

Improved Cold Weather Starting

Alcohols are less volatile than gasoline at low temperatures and require more heat to vaporize. One approach to improving cold starting may be to supply a more volatile priming fuel like gasoline or propane through an auxiliary system. Alternatively, the alcohol may be atomized (sprayed in very fine droplets) before it enters the cylinder. Still another approach being tested is the use of an electric heater to preheat the fuel.

Flexible-Fuel Engines

Flexible-fuel engines are designed to run on neat methanol, neat gasoline, or any combination of the two. It is expected that alcohol fuels will be introduced gradually into our transportation system, so there will be a transition period during which some service stations will carry alcohols while others will not. Flexible-fuel engines being developed are equipped with computerized mechanisms to monitor the fuel composition and adjust the ignition timing and carburetors or fuel injectors to suit the fuel being used. With flexible-fuel engines, drivers should be able to refuel no matter what is being sold at the pumps.

Alcohols in Diesel Engines

Because the properties of alcohols resemble those of gasoline more than diesel fuel, it is easier to use alcohols as replacements or supplements for gasoline. However, diesel fuel accounts for some 16 per cent of all vehicle fuel used in Canada, and this proportion is growing. Because of this, and because diesel engines are an important source of air pollution, there is considerable interest in using alcohols as substitutes or extenders for diesel fuel.

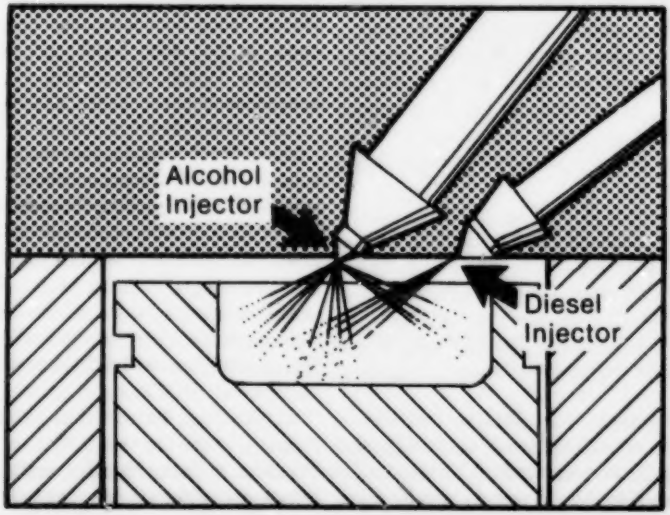
In a gasoline engine, the fuel is ignited by spark plugs in the engine cylinders. To prevent engine knock, the fuel must not ignite before the spark plug fires. The greater the ability of a fuel to avoid self-ignition (the higher its octane number), the better it performs in this type of engine. Alcohols perform well in this respect because they have high octane ratings.

A diesel engine, on the other hand, works on a completely different principle. Rather than using spark plugs, diesels use self-igniting fuel with characteristics very different from those of gasoline. The compression ratio in a diesel engine is much greater than in a gasoline engine. Compression creates heat, and in a diesel engine the compressed air reaches temperatures sufficient to ignite the injected fuel.

Since alcohols have a strong tendency to resist self-ignition, they do not make good substitutes for diesel fuel. However, they can be used if special measures are taken to adapt either the engine to the fuel, or the fuel to the engine.

- In pilot ignition engines, a small amount of diesel fuel is injected along with the

Fuel ignition in a pilot ignition engine.



alcohol. The diesel ignites, causing the alcohol to ignite.

- In another version of pilot ignition, alcohol is mixed with the intake air, this fuel-air mixture is compressed, and then diesel fuel is injected to ignite it. This approach is less complex than straight pilot ignition, but there are limits to the amount of alcohol that can be used (the maximum is 40 to 50 per cent). Thus this type of engine still uses a considerable amount of diesel fuel.
- Detroit Diesel Allison has developed a two-stroke engine capable of running on neat methanol. A 'scavenging process', in which some of the hot exhaust gases are retained in the cylinder, is used to keep the temperature in the cylinder high enough to ignite the methanol. If this is not enough, glow plugs turn on to maintain the cylinder temperature. The combination of scavenging and glow plugs keeps the temperature in the cylinder high enough to permit the methanol to self-ignite.
- Rather than adapting the engine to the fuel, it is possible to adapt alcohol fuels to diesel engines by adding cetane improvers. (The cetane number of a fuel relates to the time delay between injection into the cylinder and ignition. The higher the cetane number, the shorter the time delay before ignition. Diesel fuel, which self-ignites easily, has a high cetane number, while alcohols, which resist self-ignition, have very low cetane ratings). At present, cetane improvers are expensive, but researchers are working to make them both cheaper and safer to use.

These approaches all involve adapting alcohols to compression ignition engines, or vice versa. Since alcohols are inherently more suited to spark ignition, another approach is to convert diesel engines to spark ignition alcohol engines where practical.

Finally, researchers in Canada and elsewhere are investigating blends of diesel and methanol that could be used in unmodified diesel engines. Blending is complicated by the fact that methanol does not mix with diesel fuel as it does with gasoline, but forms an emulsion. Additives called surfactants or emulsifying agents must be added to keep the emulsion stable.

Testing of emulsions of methanol and ethanol with diesel fuel has shown that more research is needed before they can be put on the market. No modifications of vehicle fuel systems are required but large quantities of stabilizing agents are needed (12 to 15 per cent). At present, the high cost of these agents makes diesel-alcohol blends uneconomical.

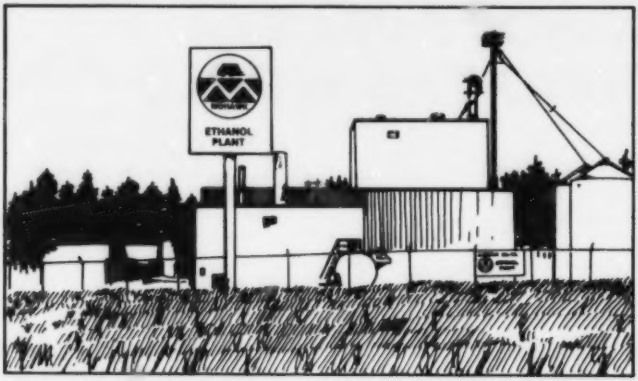
Although there are difficulties in blending or replacing diesel fuel with alcohols, the need to reduce pollution from heavy diesel vehicles is a priority in many parts of the world. Nitrogen oxide emissions from alcohols are only one third of those from diesel fuel, and particulates, a major problem with diesel fuel, are absent. For environmental reasons alone, it is likely that research into using alcohols to supplant diesel fuel will increase around the world.

Distribution of Alcohol Fuels

How alcohol fuels are distributed from producer to consumer depends to a certain extent on how they are to be used. Blends of alcohol and gasoline are best distributed through the conventional fuel distribution system; this is already being done in several Canadian provinces. On the other hand neat alcohols may be more easily distributed by producing companies through a separate network.

The main concern in distributing neat alcohols is materials compatibility. Fuel tanks, hoses and other equipment must not contain materials that alcohols could attack or corrode. Materials compatibility is less of an issue for blends. Because of the potential for phase separation, care must be taken to keep fuel systems as dry and clean as possible, but this can be done without too much difficulty.

Alcohols can be added to gasoline at the refinery, at the service station or somewhere between. Refinery blending is often not desirable because the alcohol may be produced far



Canada's first fuel ethanol plant is operated by Mohawk Oil Co. Ltd. in Minnedosa, Manitoba.

from the refinery. Also, if blends are shipped through conventional fuel pipelines they could be contaminated by rust, dirt and wax in the pipeline; gasoline will not normally pick up these contaminants, but alcohols may.

Another approach is to blend the alcohol and gasoline at the pump. This typically requires additional tanks to hold the alcohols and cosolvents and an alcohol-cosolvent compatible blending pump.

Ultimately, any combination of these methods may be used to bring alcohol fuels to your neighbourhood service station.

Alcohol Fuels: The Canadian Experience

Alcohol fuels are not new to many Canadians. Since the early 1980s, Mohawk Oil Co. Ltd., an independent oil company serving the western provinces, has been selling 'E-10 Gasohol' (10 per cent ethanol and 90 per cent gasoline) to motorists in Manitoba and 'EM Unleaded' (3 per cent ethanol, 5 per cent methanol and 92 per cent unleaded gasoline) in Saskatchewan, Alberta and British Columbia. In central and western Ontario, a blend of 4.75 per cent methanol and 4.75 per cent isobutanol in gasoline is being marketed by the V-Plus chain of gasoline stations.

Mohawk produces the ethanol for its E-10 gasohol at its distillery in Minnedosa, Manitoba. The story of this distillery is a classic illustration of the economic benefits that alcohol fuel use can generate. In the late 1960s and early 1970s, the distillery produced rye whisky intended for the United States market. However, by 1972, the United States market for Canadian rye whisky had weakened to such an extent that the distillery had to be shut down.

In 1980, Mohawk purchased the inactive distillery and began producing ethanol for blending with gasoline. The plant now employs more than 30 people and produces some 6.5 million litres of ethanol annually. The economic benefits to Minnedosa do not stop with the jobs in the distillery either — Mohawk pays local growers some $2 million annually for 18 000 t of low-grade corn and barley. The Minnedosa experience clearly shows that blending alcohols with gasoline does more than just conserve petroleum.

Neat alcohols have been slower to penetrate the market because of the need to modify vehicles and set up distribution networks. However, tests and demonstrations by both governments and private companies have shown that neat methanol can be used under Canadian climatic conditions.

Canada is not the only country interested in alcohol fuels. As we shall see in the following chapter, alcohols are fuelling cars in nearly every corner of the globe.

ALCOHOL FUELS AROUND THE WORLD

Service stations selling alcohol fuels are an increasingly familiar sight to motorists in many parts of the world. Nowhere is this more true than in Brazil, a country with a long history of alcohol fuel use.

Brazil

Brazil is a world leader in the use of ethanol as a motor fuel. Ethanol produced by fermentation of sugarcane accounts for more than 10 per cent of the transport energy consumed in this country.

The use of ethanol in Brazil dates back to 1931, when the government required the addition of 5 per cent ethanol to imported gasoline in the hope that this would stabilize the local sugar industry and curb migration to the cities. Large-scale use of 2 to 5 per cent blends began after World War II, and the oil crisis of the mid-1970s led to the development of a national alcohol program by the Brazilian government in cooperation with private industry.

Some 20 per cent ethanol is now routinely added to all gasoline sold in Brazil. In addition, there are a million and a quarter automobiles in Brazil running on 'neat' ethanol (96 per cent ethanol, 4 per cent water by volume); this represents 10 per cent of the passenger cars in Brazil. Currently more than 90 per cent of new vehicles made in Brazil are powered by neat ethanol engines. These vehicles are equipped with auxiliary gasoline-fuelled, cold-starting systems, as well as a number of other modifications.

Brazil is now investigating the use of ethanol in diesel engines. Researchers have developed an ethanol-diesel tractor engine, expected to be the world's first commercially produced alcohol-diesel engine. The engine, which uses separate alcohol and diesel fuel injection systems, will be used in the sugar and alcohol manufacturing industries.

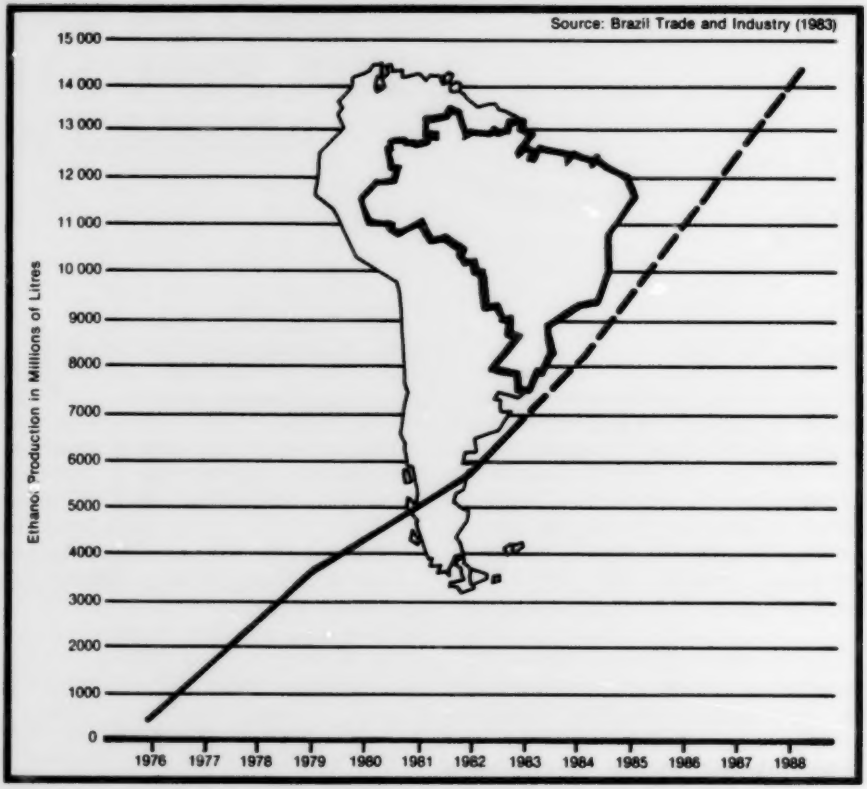
Although Brazil has the world's largest alcohol fuels program, it is by no means the only country using alcohol fuels. Many countries are using blended fuels containing methanol or ethanol.

United States

Blends of 10 per cent ethanol with gasoline, called gasohol, were marketed in parts of the United States in the 1930s, and in recent years have been reintroduced in a number of states. In 1984, some 2 billion litres of ethanol fuel were produced in the United States, primarily from corn. Blends of ethanol and gasoline now amount to about 5 per cent of the total United States gasoline market.

A number of methanol blends are also being marketed in the United States. The Environmental Protection Agency (EPA), which regulates the addition of alcohols to unleaded gasoline, has granted waivers to several companies including ARCO (for its 'Oxinol' blend of 4.75 per cent methanol and 4.75 per cent tertiary butyl alcohol with gasoline), and Dupont (for a blend containing 5 per cent methanol and 2.5 per cent cosolvent).

There is great interest in the United States in neat methanol, and a number of field tests are under way. The State of California is particularly interested in the potential of



Brazilian ethanol production. Ethanol production has been steadily increasing since Brazil's national alcohol program started in the mid-1970s.

methanol-fuelled vehicles to reduce urban air pollution. Under the California State Methanol Program, more than 500 methanol-fuelled Ford Escort cars are being used in government fleets throughout the state. Private industry is also interested in methanol; the Bank of America, for instance, has converted most of its California vehicle fleet to methanol.

Europe

Federal Republic of Germany

The Federal Republic of Germany has been one of the pioneers in methanol research and use. Blends containing 3 per cent methanol and 2 per cent tertiary butyl alcohol (TBA) with gasoline are permitted and account for some 70 per cent of the gasoline market. The amount of methanol in gasoline could increase to 5 per cent (with 5 per cent cosolvent). Most new vehicles in the Federal Republic of Germany can tolerate at least 15 per cent methanol, and German automakers have been at the forefront in the design of alcohol engines.

Austria

Blends containing 3 per cent methanol, 2 per cent TBA and 5 per cent MTBE are produced and marketed in Austria. This country also imports blended fuel (3 per cent methanol, 2 per cent TBA, 95 per cent gasoline) from its neighbour, the Federal Republic of Germany.

France

Commercial sales of alcohol fuels in France are fairly small as yet, but there are some low-level blends (3 per cent methanol plus cosolvent) on the market. Considerable research and field testing of methanol blends is being carried out, and there is strong interest in the potential for ethanol produced from surplus agricultural products.

Italy

One Italian producer has been commercially manufacturing a methyl fuel containing 70 per cent methanol and 30 per cent higher alcohols. This fuel is supplied to more than 300 Italian gas stations and added to gasoline to produce a 5 per cent blend.

Other European countries (including Sweden, Norway, Denmark and the Netherlands) have been researching and field testing neat alcohols and alcohol blends. Because of the close relationships between these countries, widespread use of alcohol fuels will probably require a cooperative effort. Working groups in the European Community are looking at ways to introduce alcohol fuels on a European basis.

Other Countries

South Africa

Ethanol and higher alcohols produced as byproducts of synthetic fuel production are blended with gasoline to form a 10 per cent alcohol - 90 per cent gasoline blend. This blend is marketed as high-octane fuel in an area containing half the vehicles in South Africa.

New Zealand

In addition to its pioneering work in the commercialization of the methanol-to-gasoline process described earlier, New Zealand has extensively tested and demonstrated neat alcohol fuels and blends of alcohols with gasoline.

Several countries have not yet begun to market alcohols commercially but are researching and testing them. Australia, India, Japan, Philippines and Thailand are just some of the countries that are interested in alcohol fuels. In the next few years it is likely that many more countries will begin to introduce alcohols into their transportation systems.

THE FUTURE OF ALCOHOL FUELS IN CANADA

What is the future of alcohol fuels in Canada? In a large part, it is a question of economics. Technical questions are not a major problem — we are already using blends, and tests of neat alcohols have been successful under severely cold winter and hot summer conditions.

At present, neat alcohol fuels are not competitive with gasoline and diesel fuel in Canada; the economics of blends are better. Of the two alcohols, methanol appears at the moment to be more promising because of the large feedstock supply. Enough methanol could be produced from Canada's abundant natural gas to fuel all of the vehicles in this country.

Although methanol is less costly to produce per litre than gasoline, it is more expensive than gasoline when used as a fuel because of its lower heating value. A number of researchers are looking for ways to reduce the cost of methanol production. Some are investigating catalysts that could simplify methanol production by allowing natural gas to be converted directly to methanol without the intermediate step of producing synthesis gas. Others are looking at ways to produce methanol from a feedstock of natural gas combined with low-cost wood wastes.

Ethanol is, in general, considerably more expensive to make than gasoline. Producing ethanol can be cost-competitive in special circumstances — for example, some farmers might be able to profitably make ethanol from agricultural wastes — and some companies are producing small amounts of reasonably priced ethanol for use in blends. However, at present the cost of producing, collecting and transporting biomass feedstocks such as corn and cereal grains makes the large-scale ethanol production that would be necessary for widespread use of neat ethanol too expensive.

This situation could change if Canada's enormous forest resource could be used to make ethanol. A major effort is under way to find economical ways to convert cellulose to sugar and to use the material left after the ethanol has been removed. In addition, forest researchers are working to produce a cheaper wood feedstock by developing fast-growing hybrid trees, which can grow on underused marginal land.

Even if a breakthrough in alcohol production techniques is achieved in the near future, it is likely that we will continue to rely mainly on petroleum fuels for some time to come. Widespread use of neat alcohols would require changes in vehicle design and production and in fuel transport and distribution systems. Such changes take time, and must be introduced gradually to avoid economic disruption.

Canada's large biomass resource base is a potential source of alcohol fuels.

To use alcohol-gasoline blends, however, we do not have to make permanent changes in our transportation system. For this reason, blends look to be a promising way to use abundant resources (such as natural gas and wood) to conserve a diminishing resource (conventional petroleum) and thereby ease Canada's transition away from oil. The octane benefits of alcohol blends and the potential for alcohol production to create jobs in rural areas increase the attractiveness of blends still further.

Thus no matter what the future brings, it is likely that alcohol fuels will have a part to play in it. As conventional fuel prices rise and research improves the efficiency of alcohol production, these low-pollution fuels should look increasingly attractive to fuel companies and motorists alike.

GLOSSARY

Acid hydrolysis — Hydrolysis of a carbohydrate to fermentable sugars by reaction with a dilute acid (see Hydrolysis).

Agricultural waste — Biomass in the form of crop residues (e.g., cornstalks) or surplus or damaged crops, which can be used as a feedstock for ethanol production.

Air-fuel ratio — See Fuel-air ratio.

Alcohol — One of a large series of organic compounds; some occur naturally but most are manufactured. Formed by replacing one or more hydrogen atoms in a hydrocarbon molecule with a hydroxyl group.

Aldehyde — One of a series of chemical compounds, many toxic, formed by incomplete oxidation of alcohols (e.g., formaldehyde is made from methanol).

Alkylate — High-octane product of the refining process known as alkylation; useful in gasoline blending.

Antiknock — Resistance of motor fuel to the tendency to knock (see Knocking).

Azeotrope — A mixture of two or more liquids that does not change composition on distillation, i.e., the resulting vapour has the same percentage composition as the original liquid. Also known as a constant boiling mixture.

Biomass — Material of plant origin, including agricultural wastes, wood and animal manure.

Bitumen — Viscous mixture of hydrocarbons, which occurs naturally but is not commercially recoverable by standard methods. Also hydrocarbon residue from distillation of some crude oils.

Butane — Highly flammable, volatile, gaseous hydrocarbon (C_4H_{10}) that is extracted from natural gas or produced by cracking petroleum. Used as a blending compound to increase the vapour pressure of gasoline and promote cold starting. Exists in two different molecular forms or isomers; in normal butane (n-butane), the four carbon atoms are arranged in a straight line, but in isobutane they form a branched chain. The calorific value of n-butane is higher.

Butanol — A colourless, fairly toxic alcohol with the formula C_4H_9OH, commonly used as a cosolvent in methanol-gasoline blends. Exists in four different molecular forms, three of which are liquid. Normal butanol and isobutanol are manufactured from petroleum gases, and secondary butanol is made from butylene derived from petroleum cracking. Tertiary butanol, also derived from petroleum, is a crystalline solid at room temperature and is used for denaturing alcohol.

Carbohydrate — One of a very large group of chemical compounds containing atoms of carbon, hydrogen and oxygen in varying proportions. Formed from living matter, the main categories being sugars, starches and celluloses.

Carbon monoxide	A colourless, odourless, toxic gas composed of equal parts of carbon and oxygen. Produced by partial combustion (oxidation) of hydrocarbon fuels.
Catalyst	A substance that helps to initiate a chemical reaction and enables it to proceed under less severe conditions (for example, at a lower temperature or pressure), but remains unchanged itself.
Catalytic converter	A device fitted to the exhaust system of a motor vehicle to reduce the levels of hydrocarbons, carbon monoxide and nitrogen oxides in the exhaust gas. Various metals and alloys, including platinum, copper and nickel, can be used. Since tetraethyl lead poisons the catalyst, lead-free gasoline must be used.
Catalytic steam reforming	See Steam reforming.
Caustic soda	Common name for sodium hydroxide (NaOH). White crystalline compound that is a powerful and very corrosive alkali.
Cellulase	An enzyme that acts specifically to hydrolyze cellulose to simple sugars.
Cellulose	Complex fibrous carbohydrate that performs a supporting function in plant tissue. Molecule consists of glucose units linked together in chains, with the formula $(C_6H_{10}O_5)n$, where n = 2000 to 4000. The most abundant naturally occurring organic compound. Can be broken down by hydrolysis into simpler carbohydrates like starches and sugars.
Cetane	Liquid hydrocarbon ($C_{16}H_{34}$) used as a reference fuel for diesel engines because of its excellent ignition characteristics.
Cetane improver	A chemical additive that has the effect of increasing the cetane number of a diesel fuel.
Cetane number	A measure of the ignition quality of a diesel fuel when tested in a standard engine against a mixture of n-cetane (cetane number 100) and alphamethyl naphthalene (cetane number 0). The higher the cetane number, the shorter the delay before ignition. Present diesel engines require fuel with a cetane number of at least 40.
Cholesterol	A complex carbohydrate in the alcohol series, with the formula $C_{27}H_{45}OH$. Found in animal tissue.
Compression ratio	Ratio of the volume of gas within the cylinder of a vehicle engine before compression to the volume after the gas has been fully compressed by the piston. If the CR is too high, knocking occurs. In a modern automobile engine, the CR is about 9:1.
Connecting rod	Rod that connects the piston to the crankshaft in a piston engine.
Conventional fuels	Liquid hydrocarbon fuels obtained by refining crude oil.
Corrosion	Erosion of a metal surface caused by chemical reaction of the metal with substances in contact with it.

Coolvent	Chemical compound with good solvent properties that is added to a methanol-gasoline blend to prevent phase separation, reduce corrosion and improve lubrication.
Crankshaft	Main shaft of a piston engine that acts with the connecting rods to change the reciprocating motion of the pistons into rotary motion.
Denature	To add a noxious or toxic chemical to ethanol to make it unfit for human consumption.
Destructive distillation	Chemical decomposition of wood or other solid organic material by heating it in the absence of air. Old method of producing methanol, no longer used commercially.
Diesel fuel	High-grade fuel oil suitable for use in compression ignition engines. Available in different grades; regular has a cetane number of 40-45 and premium of 45-50.
Distillation	Process of heating a liquid to the boiling point and collecting and condensing the resulting vapour.
Dual-fuel carburetion system	A vehicle system equipped to operate on two different fuels, e.g., diesel and methanol.
Emulsifying agent	*See* Surfactant.
Emulsion	A milky mixture of two liquids, one forming fine droplets dispersed within the other.
Enzymatic hydrolysis	Hydrolysis of complex carbohydrates into sugars by the action of enzymes produced by bacteria or moulds (see Hydrolysis).
Enzyme	Type of protein found in living matter; acts as a catalyst in a chemical reaction occurring within the cells. Each enzyme is specific to a particular reaction.
Ethanol	Colourless, volatile, flammable liquid with the formula C_2H_5OH. Used as a fuel, as a reagent in many industrial processes, and in intoxicating beverages.
Ethyl alcohol	*See* Ethanol.
Ethylene	Colourless, flammable gas with the formula C_2H_4, belonging to the olefin group. Feedstock for ethanol manufacture.
Fermentation	Breakdown of a sugar into ethanol and carbon dioxide by the action of yeasts or bacteria.
Flare	To burn off excess natural gas at the wellhead.
Flywheel	Heavy wheel used to absorb and store energy by means of momentum. Smoothes out fluctuations in power input.
Fuel-air mixture	Fuel and air supplied to an engine which, when burned together, expand and provide propulsion.
Fuel-air ratio	Ratio of the weight of fuel to air that is required for consistent ignition in a vehicle engine.

Gasification	Production of methane from coal or biomass by heating the feedstock to high temperatures under high pressure in a restricted amount of oxygen.
Gasohol	A blend of 10 per cent ethanol with gasoline.
Gasoline	Refined mixture of volatile, petroleum-derived hydrocarbon liquids with octane numbers ranging from 60 to above 100; used as a fuel for spark ignition engines.
Heat of vaporization	Amount of heat required to change a liquid into a gas with no change in temperature. Also called latent heat of vaporization.
Heating value	Amount of heat released during complete oxidation (combustion) of a given amount of a fuel at constant pressure. Also called heat of combustion.
Hemicellulose	Carbohydrate found in plant cell walls. Similar to cellulose but with fewer molecular units, i.e., 'half' cellulose. High percentage in agricultural wastes.
Hexose	Any monosaccharide containing six carbon atoms in the molecule. Glucose is an example.
Hybrid process	Production of synthesis gas using a combination of natural gas and coal or biomass processing to yield the optimum ratio of carbon monoxide and hydrogen for methanol manufacture.
Hydration	Chemical reaction in which a water molecule is incorporated into a molecule of another substance.
Hydrocarbon	One of a very large series of chemical compounds, consisting solely of carbon and hydrogen atoms, which form the basis of all petroleum products. Those with few carbon atoms are gases and those with many are solids.
Hydrogen	The simplest and lightest element. In its molecular form it is a colourless, odourless, tasteless gas, but it never occurs naturally in this form.
Hydrolysis	Chemical reaction of water with another compound; the molecules of both are split, the two parts of the water molecule each combining with part of the molecule from the other compound.
Hydroxyl group	Part of a molecule, consisting of an atom of oxygen bonded to an atom of hydrogen. Characteristic component of alcohols.
Isobutanol	A four-carbon alcohol often used as a cosolvent in methanol-gasoline blends (see Butanol).
Iso-octane	Flammable, colourless, liquid hydrocarbon (C_8H_{18}) used for comparing the ignition characteristics of different gasoline blends. A form or isomer of octane with a slight variation in the arrangement of the carbon and hydrogen atoms.
Isopropanol	Colourless liquid in the alcohol series, with the formula $(CH_3)_2CHOH$, commonly used as a cosolvent in methanol-gasoline blends.

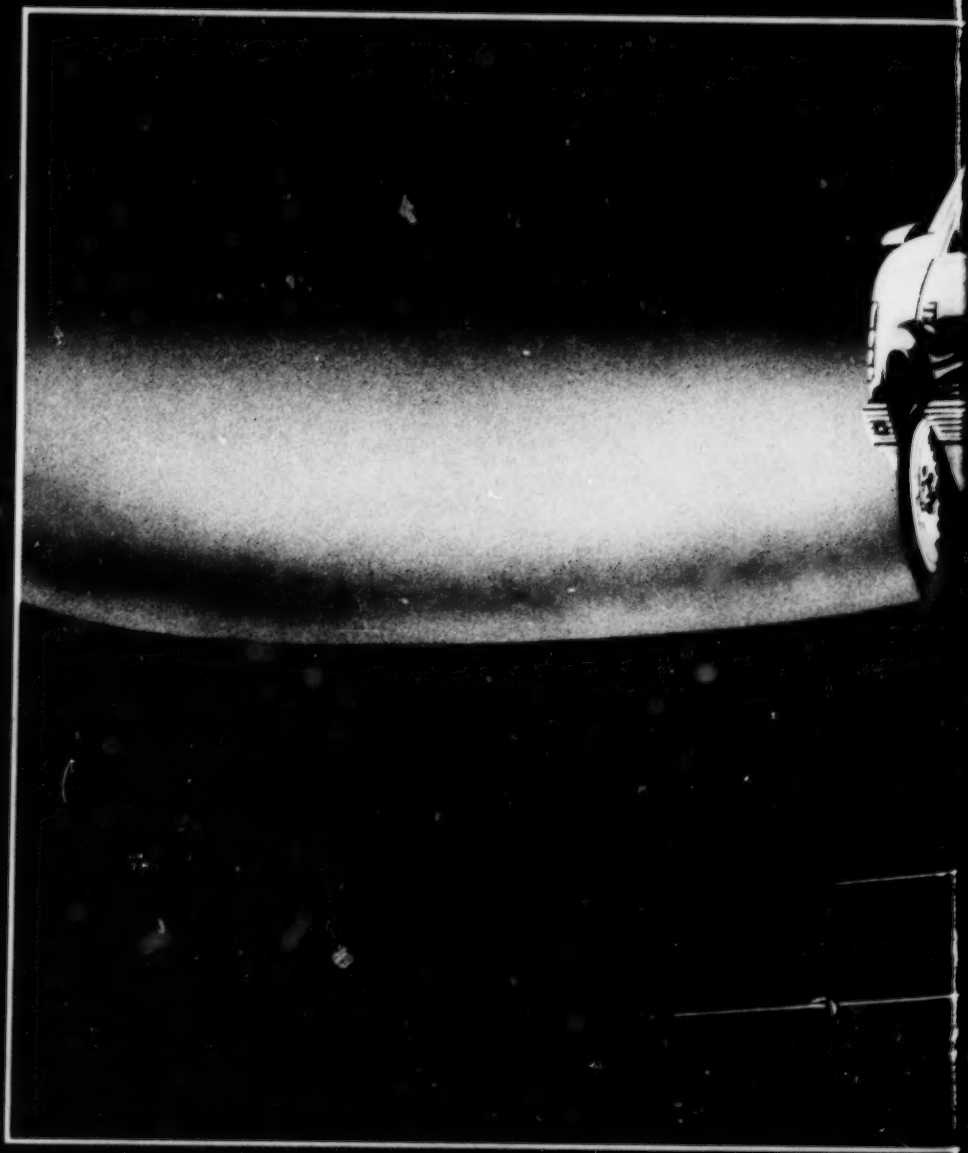
Knocking	Pinging sound in a spark ignition engine caused by the fuel-air mixture self-igniting before the spark is passed at the spark plug; can lead to engine damage. Prevented by using a higher octane fuel.
Lignin	Organic compound that supports plant tissue. Wood is 25 to 35 per cent lignin. Binds cellulose fibres together and therefore interferes with the breakdown of cellulose into sugars during hydrolysis.
Liquefied petroleum gas	A group of hydrocarbon gases, primarily butane and propane, obtained from crude oil and natural gas production and also as by-products of refining. Compressed to liquid form for storage and transportation and used as a fuel.
LPG	See Liquefied petroleum gas.
Materials compatibility	Absence of reaction between materials used in construction of vehicles and fuel distribution systems with the fuel itself, thereby avoiding corrosion and blockage.
Metabolism	The chemical changes in living cells by which energy is provided for vital processes and activities and new material is assimilated.
Metabolize	To carry out metabolism.
Methane	Colourless, odourless, flammable gas with the formula CH_4, making it the simplest hydrocarbon. Main constituent of natural gas.
Methanol	Colourless, toxic liquid with the formula CH_3OH; the simplest of the alcohol series. Also called methyl alcohol.
Methyl tertiary butyl ether	See MTBE.
Monosaccharide	A sugar that cannot be decomposed to simpler sugars by hydrolysis.
MTBE	Liquid additive used to increase the octane number of unleaded gasoline.
Municipal waste	Biomass feedstock in the form of municipal garbage and sewage. Yields fuels via gasification or anaerobic digestion.
Natural gas	Flammable mixture of gaseous hydrocarbons, mainly methane. Occurs naturally, usually in association with crude oil.
Neat fuel	Straight, unblended fuel (may contain small quantities of additives for improving cold starting and reducing corrosion).
Nitrogen oxides	Various gaseous combinations of nitrogen and oxygen atoms produced by burning fuels and therefore found in exhaust emissions. Usually abbreviated as NO_x. All are toxic except nitrogen dioxide.
Octane	Flammable, petroleum-derived hydrocarbon (C_8H_{18}) that exists in many molecular forms or isomers (see Iso-octane).
Octane enhancer	Additive that raises the octane number of a fuel.

Octane number	An arbitrary value that indicates the antiknock quality, or grade, of a gasoline, i.e., provides a measure of the resistance of the fuel to premature ignition. Iso-octane (octane number 100) is added to n-heptane (octane number 0) to produce a mixture with the same knocking characteristics as the gasoline blend being tested. The proportion of iso-octane in the mixture indicates the octane number of the gasoline blend. Available gasoline blends usually range in octane number from 92 to 100.
Octane rating	See Octane number.
Olefin	One of a group of manufactured hydrocarbons that are characterized chemically by a double bond between two hydrogen atoms, making them very reactive and therefore useful industrially. Ethylene and propylene belong to this group.
Organic compound	Substance the molecules of which contain chains or rings of carbon atoms with hydrogen atoms attached. Naturally occurring organic compounds are of animal or plant origin; similar substances can be made in the laboratory.
Pentose	Any monosaccharide that contains five carbon atoms in the molecule. Ribose is an example.
Phase separation	Separation of an alcohol-gasoline blend into distinct layers. Usually caused by the presence of water. Can be prevented by adding a cosolvent.
Photochemical reactivity	Tendency for chemical compounds to be changed on exposure to sunlight; for example, hydrocarbon and nitrogen oxide emissions form secondary pollutants when exposed to light, creating photochemical smog, which damages vegetation and causes adverse health effects.
Pilot ignition engine	Type of engine that uses a small amount of diesel fuel to ignite alcohol fuel.
Piston	Engine component that moves back and forth in the cylinder under the force of the exploding fuel.
Piston engine	A type of engine characterized by reciprocating motion of pistons in a cylinder. Most automobile engines are of this type.
Propane	Heavy, volatile, colourless hydrocarbon gas (C_3H_8) that can be readily liquefied at ambient temperatures and is the main component of LPG. Can be extracted from natural gas and is also produced during refining.
Pump blending	Blending of an alcohol fuel with gasoline at point of sale.
Pyrolysis	Chemical change caused by the action of heat without oxidation. Usually causes breakdown of complex molecules into simpler ones, such as the conversion of organic wastes to fuel gases.
Rectifying column	Portion of a distillation column in which an alcohol is gradually purified by repeated contact of the falling liquid with the rising vapour.

Refinery blending	Mixing of an alcohol fuel with gasoline at the refinery for distribution as a blended fuel.
Regeneration	Chemical treatment of a spent catalyst to remove carbon deposits from the surface. This restores the catalyst for reuse.
Rotational force	Power created by rapid turning about an axis.
Shift reactor	Processing device used to shift the ratio of carbon monoxide in synthesis gas obtained from coal or biomass closer to the optimum for methanol production.
Sieve plates	Series of perforated trays in a distillation column that allow gaseous fractions to rise through liquid in the trays until they condense.
Spark ignition engine	A piston engine that relies on a spark plug within each engine cylinder to ignite the fuel. Gasoline-powered engines are of this type.
Spark plug	Device fitted onto the cylinder of a spark ignition engine that contains a pair of electrodes between which a spark passes to ignite the fuel.
Starch	A white odourless, tasteless granular carbohydrate $(C_6H_{10}O_5)x$ that is the chief storage form of carbohydrates in plants. It can be broken down fairly readily by enzymes or acids to produce fermentable sugars for ethanol production.
Steam cracking	*See* Steam explosion.
Steam explosion	Method of pretreating wood prior to enzymatic hydrolysis; involves using high-pressure steam to open up the wood tissue to increase the penetration of the enzyme.
Steam reforming	Production of synthesis gas by passing methane or other hydrocarbon vapour over a catalyst at high temperature.
Stoichiometric ratio	Ideal fuel-air mixture for an engine, i.e., the fuel is completely oxidized and no excess air remains.
Stripper column	Pressure vessel for purifying methanol by removing carbon dioxide and heavy hydrocarbons.
Sugar	Simple type of carbohydrate found in plants. Can be directly fermented to produce ethanol (see Hexose).
Surfactant	Liquid added to an emulsion to ensure that the liquids do not separate out.
Synthesis gas	Mixture of carbon monoxide and hydrogen used as a feedstock for synthetic fuels.
Synthetic fuels	Liquid or gaseous fuels, similar to those made from light crude oil, produced from bitumen, heavy oil, natural gas, coal or biomass.
Tertiary butanol	Type of alcohol commonly used as a cosolvent in methanol-gasoline blends (see Butanol).

Unleaded gasoline	Gasoline blend containing sufficient high-octane hydrocarbons to ensure a high octane number without the use of lead additives.
Volatile	Readily evaporates at relatively low temperatures.
Volatility	Measure of the tendency of a fuel to change from a liquid to a vapour at a specified temperature and pressure.

Disponible en français sur le titre
LES CARBURANTS DE L'AVENIR
LES CARBURANTS ALCOOLISÉS



Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

LES CARBURANTS DE L'AVENIR

LES CARBURANTS ALCOOLISÉS

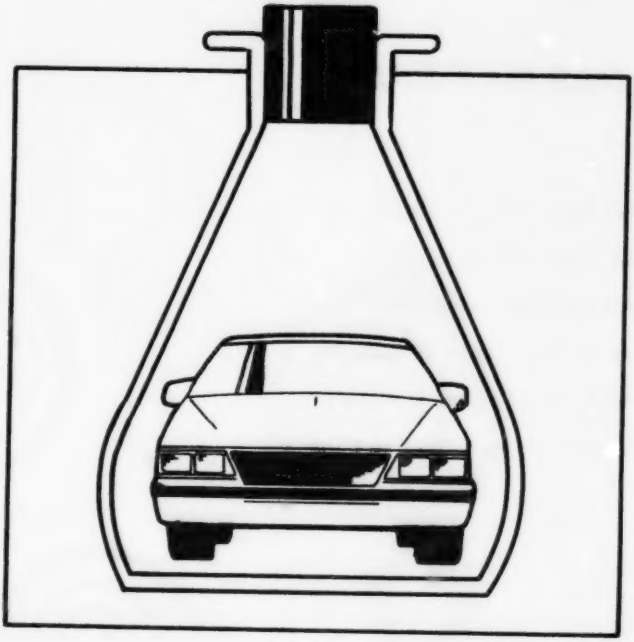
Canada

LES CARBURANTS DE L'AVENIR
LES CARBURANTS ALCOOLISÉS

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	3
Qu'est-ce qu'un carburant alcoolisé?	4
Historique des carburants alcoolisés	5
Production des carburants alcoolisés	7
Utilisation des alcools comme carburants	18
Les carburants alcoolisés dans le monde	29
L'avenir des carburants alcoolisés au Canada	32
Glossaire	34

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986
No. de cat. M27-74/3-1986F
ISBN 0-662-93846-1



LES CARBURANTS ALCOOLISÉS

INTRODUCTION

Pour la plupart d'entre nous, le mot alcool est synonyme de boissons enivrantes. En effet, le vin, la bière et les spiritueux sont des boissons largement répandues depuis plusieurs milliers d'années. Elles contiennent toutes de l'alcool éthylique (éthanol). Toutefois, peu de personnes se rendent compte qu'il existe un certain nombre d'alcools différents, lesquels sont utilisés à diverses fins en médecine, dans l'industrie et dans les transports. La présente publication porte sur la fabrication et l'utilisation des carburants alcoolisés. Par carburant alcoolisé, on entend les carburants additionnés d'alcool (essence et carburant diesel auxquels on ajoute une certaine quantité d'alcool) ainsi que les carburants composés principalement d'alcool.

Les alcools constituent une famille de substances chimiques dont les plus intéressantes, en ce qui concerne les transports, sont le méthanol et l'éthanol. Les alcools peuvent servir:

- comme carburants — l'alcool pur peut propulser un véhicule dont le moteur a été modifié en conséquence;
- comme additifs — on peut ajouter des alcools aux carburants classiques;
- comme agents d'augmentation de l'indice d'octane — les alcools ont un indice d'octane beaucoup plus élevé que celui de l'essence.

Au Canada, les transports utilisent presque exclusivement des carburants tirés du pétrole. Mais plus les réserves de pétrole brut diminuent, plus on devra recourir aux carburants de remplacement. À ce titre, les alcools offrent plusieurs propriétés intéressantes:

- ils sont compatibles avec les réseaux actuels de distribution des carburants (à la condition d'effectuer quelques modifications);
- ils possèdent des propriétés physiques semblables à celles de l'essence et se manipulent aussi bien;
- ils peuvent être produits à partir de ressources que nous avons en abondance — le méthanol peut être fabriqué à partir du gaz naturel, du charbon et du bois, et l'éthanol peut l'être à partir de matières végétales ou de biomasse;
- en règle générale, la combustion des carburants alcoolisés dégage moins de substances polluantes que celle des carburants classiques.

QU'EST CE QU'UN CARBURANT ALCOOLISÉ?

Le méthanol et l'éthanol font partie d'une famille de composés organiques appelés alcools. Du point de vue chimique, les alcools sont caractérisés par la présence du groupement « hydroxyle », lequel est une molécule composée d'un atome d'oxygène et d'un atome d'hydrogène. En plus des atomes de carbone et d'hydrogène, les alcools contiennent des atomes d'oxygène, ce qui les distingue des carburants classiques comme l'essence et le carburant diesel. Ces derniers carburants, connus sous le nom d'hydrocarbures, contiennent des atomes de carbone et d'hydrogène, mais pas d'oxygène.

On forme une molécule d'alcool en ajoutant, selon certaines règles précises, un atome d'oxygène à une molécule d'hydrocarbure. Chaque alcool est nommé d'après son hydrocarbure associé. Ainsi, on obtient du méthanol en ajoutant un atome d'oxygène à du méthane, de l'éthanol en ajoutant un atome d'oxygène à de l'éthane, etc. Afin de décrire ce procédé, on peut employer la notation chimique. Dans cette notation, C désigne un atome de carbone, H un atome d'hydrogène et O un atome d'oxygène.

CH_4	+	O	→	CH_3OH
méthane		oxygène		méthanol
C_2H_6	+	O	→	C_2H_5OH
éthane		oxygène		éthanol

Chaque alcool a des propriétés particulières qui dépendent de sa structure chimique. Avec un seul atome de carbone, le méthanol est l'alcool le plus simple. Par contre, le cholestérol, un alcool beaucoup plus complexe, en contient 27. Comme nous le verrons dans les chapitres suivants, les alcools les plus simples, c'est-à-dire le méthanol et l'éthanol, sont des combustibles utiles, tout comme ce mélange familier d'hydrocarbures complexes qu'est l'essence.

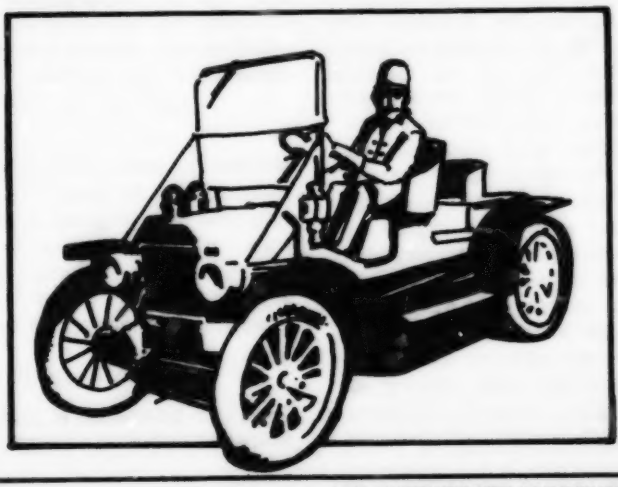
HISTORIQUE DES CARBURANTS ALCOOLISÉS

L'homme connaît l'alcool depuis des temps immémoriaux. Presque toutes les civilisations depuis l'aube des temps ont employé la fermentation des fruits, des légumes et des grains afin de produire de l'éthanol destiné à la consommation humaine. Au cours du XIX^{e} siècle, l'éthanol et le méthanol ont été utilisés comme combustible. Vers les années 1830, l'éthanol devint populaire comme combustible d'éclairage, remplaçant ainsi les huiles malodorantes tirées du poisson et des baleines. Vers le milieu du siècle, on se servait en France du méthanol tiré du bois pour le chauffage, l'éclairage et la cuisson.

On croit généralement que les automobiles ont toujours roulé à l'essence. Aux premiers jours de l'automobile toutefois, on expérimenta plusieurs types de carburants. D'ailleurs, Henry Ford avait conçu son fameux modèle T pour qu'il fonctionne à l'éthanol et c'est plus tard qu'il modifia ses automobiles pour qu'elles puissent rouler à l'essence, lorsque ce carburant tiré du pétrole devint plus abondant. À cette époque également, d'autres automobiles fabriquées aux États-Unis pouvaient rouler tout aussi bien à l'essence qu'à l'éthanol.

Certains pays adoptèrent des lois visant à encourager l'utilisation de l'éthanol. Par exemple, le Congrès américain adopta en 1906 l'*Industrial Denatured Alcohol Act*, qui supprimait la taxe sur l'alcool utilisé à des fins industrielles. Après la Première Guerre mondiale, plusieurs autres pays suivirent cet

Henry Ford avait initialement conçu son Modèle T pour qu'il roule à l'éthanol.



exemple. Déjà en 1907, on expérimentait en France un mélange d'éthanol et d'essence; l'emploi de ce carburant, plus tard appelé « gasohol », se généralisa dans les exploitations agricoles aux États-Unis au cours des années 1920. L'amélioration des techniques de raffinage du pétrole avait cependant permis de produire de l'essence de meilleure qualité et moins coûteuse, ce qui entraîna une baisse de popularité du gasohol jusqu'à la Dépression. C'est alors qu'un surplus de production agricole en Europe et aux États-Unis, jumelé à la crainte de voir les ressources pétrolières s'épuiser, favorisa l'utilisation de l'éthanol comme additifs dans les carburants. En outre, la prohibition porta un sérieux coup au marché américain des céréales et de nombreuses petites distilleries durent chercher de nouveaux débouchés.

Pendant l'entre-deux-guerres, on utilisa le méthanol et l'éthanol comme carburant. Le méthanol était utilisé pur, alors que l'éthanol était employé dans des mélanges avec l'essence. En 1938, on comptait en Europe 9 000 automobiles roulant au méthanol extrait des copeaux de bois. En Europe et en Amérique du sud, bon nombre de pays exigeaient que l'éthanol soit ajouté à l'essence, car on désirait économiser le pétrole brut importé.

Après la Seconde Guerre mondiale, les carburants alcoolisés furent relégués à l'arrière-plan, en raison de l'abondance des carburants pétroliers (essence et carburant diesel). De temps à autre, les pays producteurs de sucre, comme le Brésil, ajoutaient à l'essence de l'éthanol produit à partir des surplus de sucre, alors que le méthanol demeurait un carburant populaire pour les voitures de course. Hormis ces quelques utilisations sporadiques, les carburants alcoolisés demeurèrent dans l'ombre jusqu'aux crises pétrolières des années 1970.

Les dix dernières années ont été témoin d'un regain d'intérêt dans les carburants alcoolisés. Comme l'expliquent les chapitres suivants, le méthanol et l'éthanol peuvent tout deux remplacer en partie, voire totalement, les carburants tirés du pétrole.

PRODUCTION DES CARBURANTS ALCOOLISÉS

Le Canada possède d'abondantes matières premières qui peuvent servir à fabriquer des carburants alcoolisés. Dans les pages qui suivent, nous examinerons chacune des différentes techniques utilisées pour la production du méthanol, de l'éthanol et des autres alcools.

Méthanol

Bois, charbon, pétrole et même déchets municipaux: on peut employer à peu près n'importe quoi pour fabriquer du méthanol. De plus, les producteurs de méthanol peuvent recourir à une gamme variée de procédés, chacun possédant ses avantages et ses désavantages.

Distillation destructive

Au cours des XVIII^{e} et XIX^{e} siècles, la production du méthanol à partir du bois faisait appel à une technique appelée distillation destructive. On faisait brûler le bois dans une enceinte close jusqu'à ce qu'il soit décomposé chimiquement en nouvelles substances, lesquelles étaient recueillies séparément. L'une de ces substances était l'« alcool de bois » ou méthanol.

La distillation destructive est toutefois une technique inefficace et peu commode, ce qui explique pourquoi elle n'est plus utilisée. Les usines modernes de fabrication du méthanol font plutôt appel au gaz de synthèse. Au Canada, ce gaz est fabriqué par reformage du gaz naturel à la vapeur.

Reformage catalytique à la vapeur

Dans ce procédé, le gaz naturel est d'abord combiné à la vapeur à l'aide d'un catalyseur au nickel. (Un catalyseur est une substance qui facilite une réaction chimique sans toutefois subir elle-même de modification chimique.) Voici à quoi ressemble cette réaction:

$$\underset{\text{méthane (composant principal du gaz naturel)}}{CH_4} + \underset{\text{eau (vapeur)}}{H_2O} \rightarrow \underbrace{\underset{\text{monoxyde de carbone}}{CO} + \underset{\text{hydrogène}}{3H_2}}_{\text{gaz de synthèse}}$$

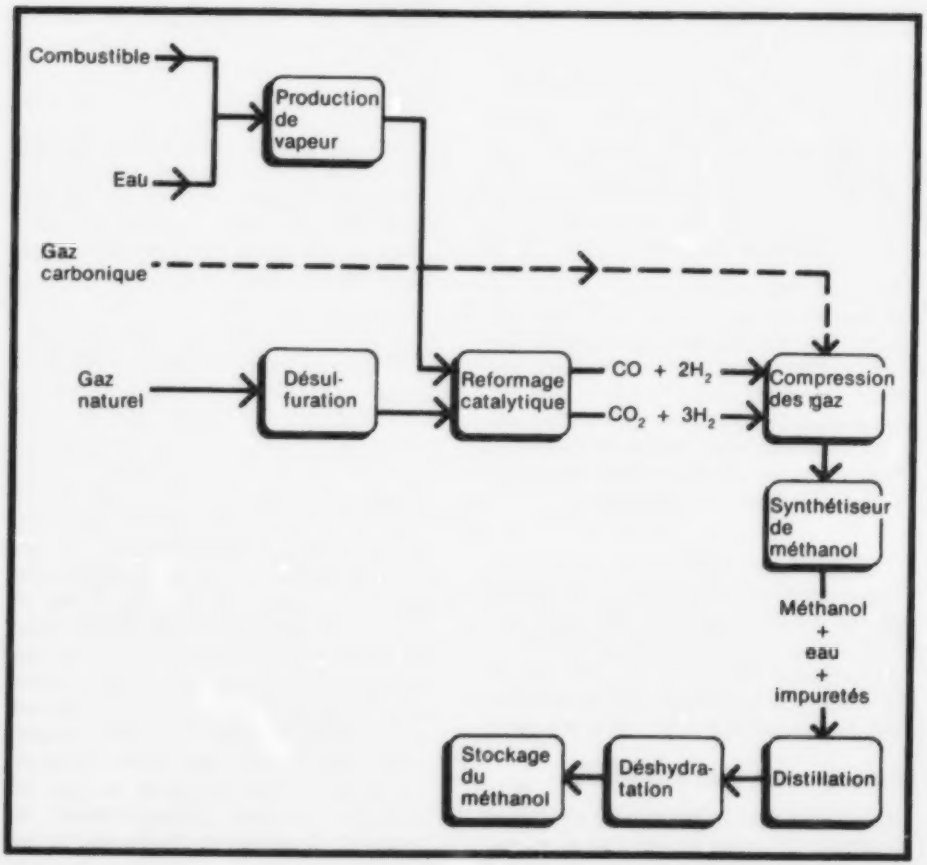
Le gaz de synthèse produit par cette réaction est un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène, avec un peu de gaz carbonique. En faisant réagir ces gaz ensemble sous pression à l'aide d'un autre catalyseur, on obtient du méthanol.

$$\underset{\text{monoxyde de carbone}}{CO} + \underset{\text{hydrogène}}{2H_2} \rightarrow \underset{\text{méthanol}}{CH_3OH}$$

Gazéification du charbon et de la biomasse

Presque tout le gaz de synthèse fabriqué au Canada est tiré du gaz naturel, ressource dont nous avons d'abondantes réserves relativement faciles à exploiter. Il est possible également d'utiliser le charbon, le bois et les déchets agricoles ou municipaux pour fabriquer du gaz de synthèse, à l'aide d'un procédé différent. Les combustibles solides sont d'abord déchiquetés ou broyés et ils sont ensuite chauffés à haute température en présence d'une quantité restreinte d'oxygène. Ce procédé donne lui aussi un gaz de synthèse composé principalement de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Ce gaz

Reformage à la vapeur du gaz naturel. Le soufre est d'abord retiré du gaz, car il pourrait annuler l'effet du catalyseur. La charge de départ désulfurée est ensuite reformée par catalyse en gaz de synthèse. On ajoute une quantité d'appoint de gaz carbonique afin d'équilibrer les proportions de carbone et d'hydrogène. On comprime les gaz reformés et on les fait circuler au-dessus de catalyseurs en couche afin d'obtenir du méthanol brut, lequel est ensuite distillé et déshydraté dans le but d'en enlever l'eau et les impuretés.



contient également des huiles, du goudron et d'autres gaz indésirables qui doivent être enlevés avant que l'on puisse se servir du gaz de synthèse pour la production de méthanol. Lorsque le gaz de synthèse est purifié, on le comprime et on le fait réagir en présence d'un catalyseur, ce qui donne du méthanol.

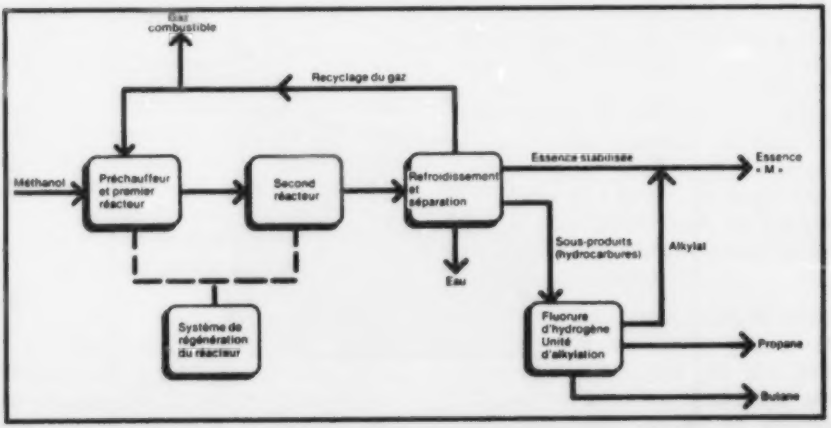
La production de méthanol à partir du charbon revêt un intérêt spécial pour les États-Unis, pays très riche en charbon. Au Canada, on s'est plutôt intéressé à la production de méthanol à partir du bois, car nous avons d'importantes réserves de déchets forestiers et de résidus de sciage, et nos pépinières pourraient nous permettre d'accroître davantage notre production de biomasse. À l'heure actuelle, les techniques de gazéification du bois en sont encore aux étapes de développement et les matières premières tirées de la biomasse coûtent plus cher que le gaz naturel. Il faudra poursuivre les recherches afin d'améliorer l'efficacité énergétique et la rentabilité de ces techniques.

Procédé hybride

Pour produire une quantité maximale de méthanol à un coût minimal, on doit utiliser un gaz de synthèse contenant les proportions voulues de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Comme le gaz naturel est un hydrocarbure très léger — chaque molécule compte quatre atomes d'hydrogène pour chaque atome de carbone — le gaz de synthèse obtenu par reformage du gaz naturel contient trop d'hydrogène. D'autre part, le gaz tiré du charbon et de la biomasse contient habituel-

Le procédé M-Gasoline de Mobil. Il s'agit d'un procédé en deux étapes qui fait appel à différents catalyseurs dans le premier et le second réacteurs. Le procédé a lieu à des températures élevées (400 °C) et des pressions élevées (2 000 kPa). La température est maintenue par recyclage des gaz chauds dans le premier réacteur. Les gaz qui sortent du second réacteur sont refroidis et séparés en essence et en sous-produits (hydrocarbures) comme les oléfines. Ces derniers sont traités de nouveau afin de donner un alkylat, lequel est ajouté à l'essence pour en augmenter l'indice d'octane. Outre l'essence, le procédé M-Gasoline donne également du propane et du butane.

Les catalyseurs utilisés dans les réacteurs sont régénérés pour que l'on puisse les employer de nouveau. Le diagramme ne montre que deux ensembles de réacteurs; en pratique, on utilise plusieurs ensembles de réacteurs de façon à permettre la régénération des catalyseurs dans l'un des ensembles sans interrompre le flot de traitement dans l'usine.



lement trop de carbone. Le gaz de synthèse obtenu de l'une ou l'autre façon doit être mélangé à la vapeur dans ce qu'on appelle un « convertisseur » afin d'amener les quantités de monoxyde de carbone et d'hydrogène aux proportions optimales nécessaires à la production de méthanol.

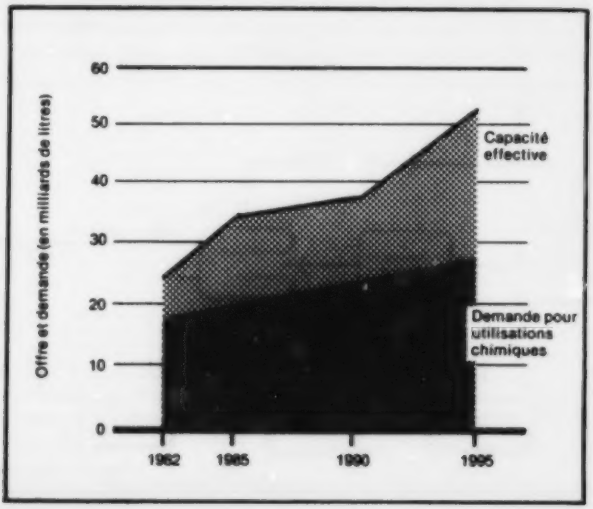
La solution évidente consiste à combiner les deux matières premières dans un procédé hybride: reformage du gaz naturel et gazéification du bois ou du charbon de faible qualité. Non seulement ce procédé hybride donne-t-il un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène qui convient davantage à la production de méthanol et élimine le recours au convertisseur, mais il produit également 25 % de méthanol de plus pour une même quantité de matières premières que l'un ou l'autre des deux autres procédés utilisé séparément. Le reformage du gaz naturel à la vapeur s'est avéré jusqu'à présent le procédé le plus économique de fabrication du méthanol, mais le procédé hybride deviendra assurément plus intéressant lorsqu'on parviendra à accroître le rendement de l'étape de gazéification.

EMPLOI DU MÉTHANOL DANS LA FABRICATION DE CARBURANTS

En plus d'être un carburant à titre propre, le méthanol peut aussi entrer dans la fabrication d'autres carburants et produits chimiques:

- Au cours des années 1970, la société Mobil Oil a mis au point le procédé « M-Gasoline » qui convertit directement le méthanol en essence, à l'aide de catalyseurs spéciaux. La première usine à employer commercialement ce procédé est située en Nouvelle-Zélande; elle utilise le méthanol tiré des vastes réserves néo-zélandaises de gaz naturel.
- En Allemagne, les chercheurs ont mis au point un procédé de fabrication du carburant diesel à partir du méthanol.
- Le méthanol peut servir à la fabrication d'éther méthyle 3-butylique (désigné par le sigle MTBE), lequel est mélangé à l'essence afin d'en améliorer les propriétés.

***Offre et demande globales de méthanol.** La capacité de production du méthanol dépasse considérablement la demande pour les utilisations chimiques. Ce méthanol pourrait éventuellement être utilisé comme carburant. On prévoit que l'offre globale augmentera lorsque les usines de méthanol du Moyen-Orient entreront en production.*



La production de méthanol dans le monde

La production mondiale de méthanol se chiffre à quelque 20 milliards de litres. Cependant, la capacité mondiale de production est de loin supérieure à la demande, et l'on prévoit que les besoins en méthanol de l'industrie chimique (qui en est d'ailleurs l'utilisateur quasi exclusif) n'augmenteront pas plus de 3 % par année.

D'autre part, on prévoit une augmentation substantielle de la production mondiale de méthanol. Au Moyen-Orient, les pays producteurs de pétrole avaient l'habitude de brûler le gaz naturel à la sortie des puits de pétrole; maintenant, ils construisent d'importantes usines en vue d'utiliser le gaz naturel pour la production de méthanol. Face à ces nouveaux concurrents, le Canada, actuellement l'un des plus importants exportateurs mondiaux de méthanol, aura peut-être de la difficulté à vendre son méthanol sur les marchés étrangers. Comme nous avons d'importantes réserves de gaz naturel qui pourraient servir à la fabrication du méthanol, son emploi éventuel comme carburant au Canada suscite de plus en plus d'intérêt.

Éthanol

On peut fabriquer de l'éthanol par hydratation de l'éthylène ou par fermentation des sucres. Au Canada, la majeure partie de l'éthanol industriel est tirée de l'éthylène, alors qu'on emploie la fermentation pour fabriquer l'alcool éthylique entrant dans les boissons alcoolisées.

Hydratation de l'éthylène

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le composant principal du gaz naturel est le méthane, à partir duquel on peut fabriquer du méthanol. Le gaz naturel contient également d'autres gaz, dont l'éthane qui peut être converti par pyrolyse en éthylène, lequel peut servir à la fabrication de l'éthanol.

La fabrication de l'éthanol à partir de l'éthylène fait appel à une réaction chimique connue sous le nom d'« hydratation », dont l'étymologie signifie « ajouter de l'eau ». Dans le procédé le plus courant, on combine éthylène gazeux et eau, on soumet ensuite le mélange à la température de réaction désirée (250 °C à 300 °C) et on le fait passer dans un réacteur qui contient un catalyseur, tel l'acide phosphorique. Cette réaction est illustrée comme suit en notation chimique:

C_2H_4	+	H_2O	+	chaleur	→	C_2H_5OH
éthylène		eau			catalyseur	éthanol

L'éthanol n'est cependant que l'un des nombreux produits qui peuvent être fabriqués à partir de l'éthylène. La demande en éthylène est grande dans l'industrie des plastiques, où il entre notamment dans la fabrication du polyéthylène et du chlorure de polyvinyle. C'est pourquoi on devra probablement recourir à la fermentation pour fabriquer l'éthanol utilisé comme carburant.

Fermentation

La fermentation est l'un des plus vieux procédés chimiques connus. Dans ce procédé, un micro-organisme, habituellement une levure, transforme par métabolisme les molécules de sucre en éthanol et en gaz carbonique. En notation chimique, cette réaction se décrit comme suit :

$C_6H_{12}O_6$	→	$2C_2H_5OH$	+	$2CO_2$	+	chaleur
glucose (un sucre simple)		éthanol		gaz carbonique		

Les sucres appartiennent au groupe de substances connues sous le nom d'hydrates de carbone. Tous les hydrates de carbone sont fabriqués à partir de matière vivante et tous contiennent des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Il existe un certain nombre d'hydrates de carbone dont la complexité chimique et les propriétés diffèrent d'un à l'autre. En ce qui concerne la fabrication de l'éthanol, les hydrates de carbone les plus importants sont les sucres, l'amidon et la cellulose.

- Les sucres sont des hydrates de carbone simples, dont bon nombre peuvent être fermentés directement par des micro-organismes telles les levures. Les hexoses (c'est-à-dire les sucres contenant

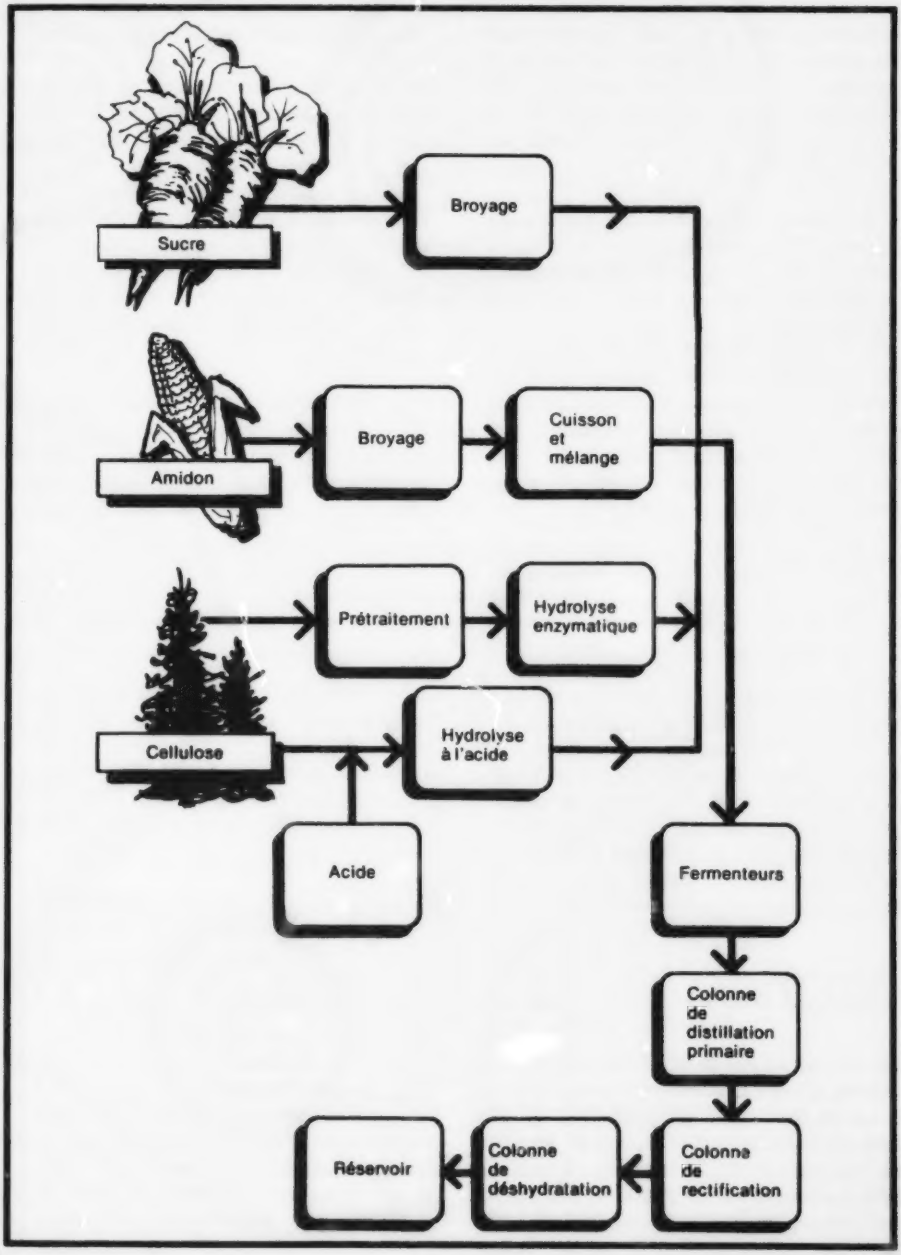
Le maïs est une source d'amidon pour la production d'éthanol.

six atomes de carbone) sont fermentés assez rapidement, quoique certains micro-organismes soient sélectifs dans le choix des hexoses qu'ils fermenteront. Les pentoses (sucres contenant cinq atomes de carbone) peuvent être fermentés seulement par certains types de micro-organismes. La canne à sucre et la betterave sucrière sont les principales sources de sucres fermentables.

- L'*amidon*, présent dans les céréales et les racines alimentaires, est un hydrate de carbone plus complexe que le sucre. Ses molécules contiennent un grand nombre d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène dont l'agencement compliqué empêche les levures de fermenter l'amidon directement. Ces molécules doivent d'abord être scindées par procédé chimique ou biochimique en molécules de sucre plus simples. À cette fin, on broie au préalable la céréale qui contient l'amidon afin d'exposer celui-ci. Ce dernier est ensuite hydrolysé (terme chimique qui signifie « décomposition par fixation d'eau ») à l'aide de l'une des deux méthodes suivantes: ajout d'enzymes (substances biologiques qui jouent un peu le rôle de catalyseur), ce qui est la méthode habituelle; ou utilisation d'un acide dilué.
- La *cellulose*, présente dans le tissu végétal, est un hydrate de carbone extrêmement complexe. C'est une matière qui donne aux plantes résistance et rigidité; par conséquent, elle est très difficile à séparer. En effet, les molécules de cellulose sont très complexes, mais elles sont de plus étroitement liées à une autre substance structurale appelée lignine qui n'est pas un hydrate de carbone et qui n'est pas fermentable. On emploie à l'heure actuelle deux méthodes principales pour briser la cellulose: on soumet la structure cellulose-lignine à un acide; ou bien l'on tente de séparer la cellulose de la lignine par un puissant traitement initial, et la cellulose est ensuite hydrolysée aux enzymes ou à l'acide, un peu comme l'amidon. Les recherches actuelles dans ce domaine sont décrites plus loin.

La fermentation donne un liquide (souvent appelé « bière ») contenant de 8 à 12 % d'éthanol. L'éthanol est ensuite retiré de la solution de fermentation par distillation, procédé qui consiste à séparer des liquides d'après leurs points d'ébullition différents.

***Production d'éthanol.** Le procédé comporte quatre étapes principales: 1) la charge de départ est d'abord traitée pour donner une solution de sucre; 2) des micro-organismes transforment par fermentation le sucre en éthanol et en gaz carbonique; 3) l'éthanol est extrait par distillation de la solution de fermentation; 4) l'eau résiduelle est extraite.*



Le diagramme ci-dessous illustre un système simple de distillation. Celui-ci comprend deux colonnes divisées en un certain nombre de sections par des plateaux perforés. Dans l'exemple illustré, l'éthanol est extrait de la bière dans la colonne de distillation primaire et il est concentré dans la colonne de rectification. Le bas de la colonne de distillation primaire est réchauffé, alors que la partie supérieure de la colonne de rectification est refroidie par un condenseur.

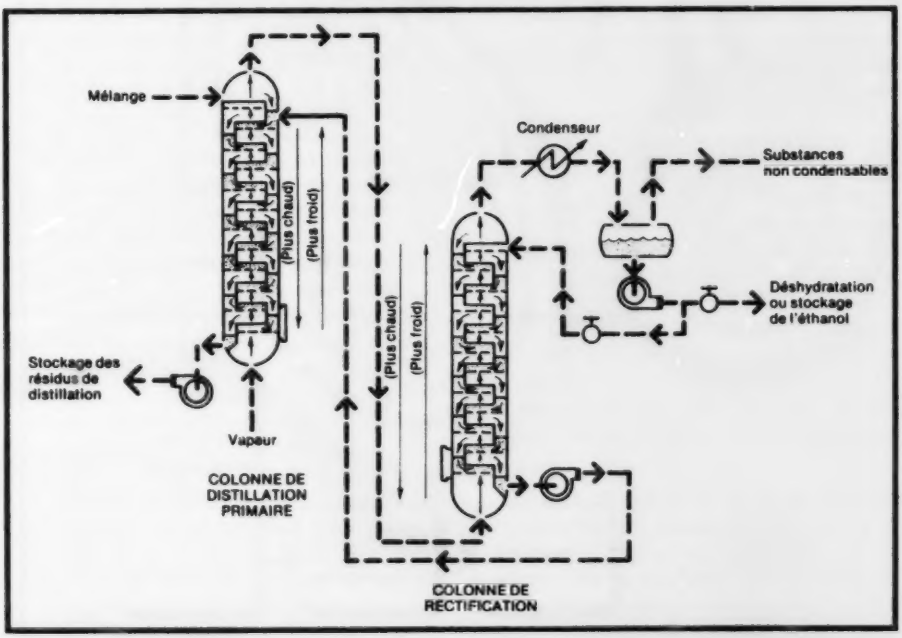
Le mélange introduit dans la partie supérieure de la colonne de distillation primaire est vaporisé par la vapeur qui monte dans cette colonne. Comme le point d'ébullition de l'éthanol pur est inférieur à celui de l'eau (78 °C pour l'éthanol, 100 °C pour l'eau), la colonne vaporisera davantage d'éthanol que d'eau. Les vapeurs qui montent dans la colonne de rectification contiennent plus d'alcool que le mélange original, alors que la partie non vaporisée du mélange a une teneur plus faible en alcool.

À mesure que le mélange non vaporisé s'écoule vers le bas de la colonne de distillation primaire, sous l'effet de la gravité, une quantité de plus en plus grande d'éthanol est vaporisée par la vapeur montante. Lorsque le mélange atteint le bas de la colonne, il ne contient presque plus d'alcool.

Pendant ce temps, la teneur en alcool des vapeurs augmente à mesure qu'elles montent dans la colonne de rectification, dans laquelle chaque plateau perforé est plus froid que le plateau précédent. Comme l'eau nécessite une température plus élevée pour demeurer à l'état de vapeur, c'est elle qui se condense en premier. Lorsque les vapeurs ont atteint le haut de la colonne de rectification, presque toute l'eau a été extraite du mélange.

Le système que nous venons de décrire est très simple. Dans les distilleries commerciales, les installations de distillation comportent un grand nombre de perfectionnements et de modifications. Toutefois,

Système classique de distillation.



Plateaux perforés dans une colonne de distillation classique. Le débit de la solution de fermentation au-dessus de chaque plateau est réglé par des déversoirs, de façon à assurer un contact approprié entre le flot descendant de liquides et le flot montant de vapeurs.

même le matériel de distillation le plus perfectionné ne peut donner qu'un alcool pur à 95,6 % au maximum. Les 4,4 % restants sont formés d'eau impossible à enlever par distillation, car l'eau et l'alcool forment un mélange à point d'ébullition constant (appelé azéotrope).

Afin d'enlever ces 4,4 % d'eau, on fait circuler le mélange d'alcool dans une colonne de déshydratation contenant un solvant comme du benzène, du cyclohexane ou du trichloréthylène. Le solvant forme un azéotrope séparé avec l'eau à une température inférieure au point d'ébullition de l'éthanol. Les vapeurs de solvant et d'eau sont distillées dans la partie supérieure de l'appareil, ce qui donne un alcool pur presque entièrement libre d'eau. Utilisé dans l'industrie et comme combustible, cet alcool est dit « dénaturé », c'est-à-dire impropre à la consommation.

À l'heure actuelle, l'éthanol produit par fermentation est sensiblement plus cher que les carburants classiques comme l'essence. Les travaux de recherche actuels visent à améliorer les procédés de fermentation continue, à produire des micro-organismes plus efficaces et à mettre au point des charges de départ végétales à croissance rapide, dans le but d'améliorer la rentabilité de ce procédé.

Production d'éthanol à partir du bois — techniques et perspectives

Les céréales sucrières et féculentes sont des matières premières de choix pour la production de l'éthanol, car elles sont faciles à préparer en vue de la fermentation. On peut également employer d'autres charges de départ. Les plantes ligneuses contiennent elles aussi des hydrates de carbone qui peuvent être utilisés en vue de la fermentation, avec plus

Le Canada possède de vastes ressources forestières et dispose d'une quantité importante de déchets forestiers; cette ressource ligneuse pourrait servir à la fabrication d'alcools lorsqu'on aura mis au point un procédé efficace de transformation de la cellulose en éthanol.

de difficulté cependant. Dans les pays comme le Canada où les forêts recouvrent une bonne partie du territoire, l'utilisation du bois et des résidus de bois comme charges de départ pour la fermentation suscite évidemment un vif intérêt.

Le bois contient deux hydrates de carbone — l'hémicellulose et la cellulose — qui peuvent être convertis en sucres fermentables. L'hydrolyse de l'hémicellulose est relativement aisée, mais celle de la cellulose est plus difficile. On fait appel principalement à deux procédés afin de transformer la cellulose en sucres fermentables. Le premier emploie un acide, et le second des enzymes.

Hydrolyse à l'acide

Le premier procédé commercial de transformation du bois en sucres fermentables faisait appel à l'acide sulfurique dilué, lequel était mélangé au bois à des températures élevées. Des usines employant ce procédé ont fonctionné avec succès en Europe avant la Seconde Guerre mondiale et jusque dans les années 1950, époque à laquelle elles ont été acculées à la fermeture lorsque l'on s'est mis à fabriquer de l'éthanol à moindre coût à partir de mélasse et de l'éthylène. Cependant, on compte une quarantaine d'usines de ce type encore en fonctionnement en Union soviétique.

L'hydrolyse à l'acide a un faible rendement en sucres, car l'acide détruit l'hémicellulose, moins résistante, ainsi qu'une part appréciable du sucre produit à partir de la cellulose. En outre, ce procédé donne une quantité considérable de déchets — environ 40 % du poids du bois employé. Ces déchets sont constitués principalement d'un sous-produit ligneux qui a peu d'utilisation, sinon comme combustible de chauffage de faible qualité.

Un certain nombre de chercheurs travaillent actuellement à améliorer cette technique, grâce notamment à des procédés en deux étapes. D'autres chercheurs privilégient l'emploi des enzymes, lesquels ont un

effet plus spécifique et moins destructif que les acides. En outre, les procédés actuels à l'acide conviennent davantage aux bois tendres, alors que le traitement à la vapeur et les méthodes aux enzymes donnent de meilleurs résultats avec les bois durs.

Hydrolyse aux enzymes

Dans ce procédé la cellulose est exposée à des enzymes connus sous le nom de cellulases, lesquelles transforment la cellulose en sucres fermentables. Les cellulases ne peuvent toutefois pas agir tant que la cellulose n'a pas été rendue accessible aux enzymes par un traitement préalable. Les chercheurs canadiens ont réalisé une première dans ce domaine en mettant au point un prétraitement appelé explosion à la vapeur, ou encore craquage à la vapeur. Comme son nom l'indique, cette technique fait appel à l'injection de vapeur sous haute pression dans le but de faire éclater le tissu du bois et ainsi en faciliter la pénétration par les enzymes.

Les cellulases peuvent attaquer la cellulose lorsqu'elle est devenue accessible. Comme les enzymes sont plus sélectifs que les acides dans le choix des substances qu'ils attaquent, l'hydrolyse aux enzymes ne détruit pas autant l'hémicellulose et les composants ligneux du bois que l'hydrolyse à l'acide. La production de sucres est élevée et la lignine résiduelle peut servir à la fabrication d'une gamme variée de produits, dont des adhésifs, des résines pour panneaux de particules, des combustibles et des produits chimiques.

L'hydrolyse aux enzymes en est encore à l'étape de développement. Afin d'assurer le succès commercial de ce procédé, on devra soit réduire les coûts de production des enzymes nécessaires, soit trouver des marchés pour la lignine et les autres sous-produits. Le Canada est un chef de file dans le développement de l'hydrolyse aux enzymes, et des chercheurs canadiens sont déjà à l'oeuvre afin d'en faire une réalité commerciale.

UTILISATION DES ALCOOLS COMME CARBURANTS

Les alcools peuvent être employés comme carburants de deux façons: purs ou mélangés aux carburants classiques. En règle générale, lorsque nous parlons de « carburants alcoolisés », nous parlons de carburants contenant du méthanol, de l'éthanol ou les deux. Pour bien comprendre le rôle des alcools dans les moteurs, il faut d'abord examiner leurs propriétés et les comparer à celles des carburants classiques.

Propriétés des alcools utilisés comme carburants

En tant que carburants, le méthanol et l'éthanol ressemblent davantage à l'essence qu'au carburant diesel. Jusqu'à présent, ils ont été

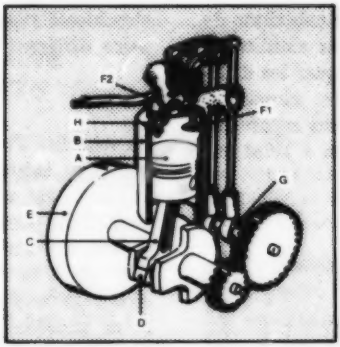
COMMENT FONCTIONNE UN MOTEUR À ESSENCE?

Dans les moteurs à essence, aussi appelés moteurs à allumage par étincelle, la combustion du carburant dans chaque cylindre est amorcée par une bougie d'allumage. En deçà d'une certaine marge de tolérance, on peut utiliser les mélanges alcool-essence dans ce type de moteur sans qu'on ait à modifier le fonctionnement de base décrit ci-dessous.

Comme l'illustre le dessin, chaque cylindre contient un certain nombre de pièces. Au haut du cylindre se trouvent des soupapes et la bougie d'allumage. L'une des soupapes est reliée au carburateur, lequel mélange l'essence à l'air et vaporise ce mélange combustible. C'est la soupape d'admission. L'autre soupape, la soupape d'échappement, est reliée au système d'échappement. Les gaz produits par la combustion sont expulsés hors du cylindre et passent par cette soupape, d'où ils sont dirigés vers le tuyau d'échappement et le silencieux.

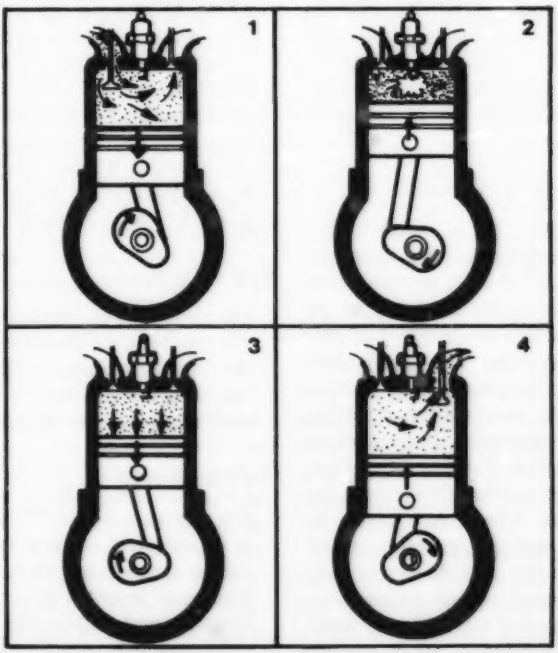
Le piston épouse étroitement la paroi intérieure du cylindre, sous les soupapes. Une bielle relie le piston au vilebrequin. La bielle transmet le déplacement alternatif du piston au vilebrequin afin de faire tourner celui-ci autour de son axe. Cette force de rotation est à son tour transmise aux roues du véhicule.

Lorsque le moteur tourne, une série d'événements prend place dans chaque cylindre. Pendant la course descendante du piston, la soupape d'admission s'ouvre et le piston aspire le mélange air-essence fourni par le carburateur (1). Lorsque le piston amorce sa course ascendante, la soupape d'admission se ferme, ce qui obture le cylindre. Le mélange gazeux est comprimé et, quand le piston arrive près de la fin de sa course, la bougie enflamme le mélange (2). La dilatation rapide des gaz en combustion chasse le piston vers le bas et la bielle transmet cette impulsion au vilebrequin (3). Le piston remonte dans le cylindre, la soupape d'échappement s'ouvre et les gaz de combustion sont expulsés hors du cylindre (4). Les quatre temps de ce cycle recommencent de nouveau: admission, compression, combustion et échappement. Le piston monte et redescend deux fois au cours d'un cycle.



Un moteur à essence. Le piston (A) coulisse dans le cylindre (B). Une bielle (C) relie le piston au vilebrequin (D) qui transforme le déplacement alternatif du piston en un mouvement circulaire. Le vilebrequin entraîne un lourd volant (E) métallique. Le cylindre est muni de deux soupapes: une soupape d'admission (F1) et une soupape d'échappement (F2). L'ouverture et la fermeture de ces soupapes sont assurées par des petites pièces de métal lisse appelées cames qui sont montées sur un arbre à cames (G). Les arbres à cames sont entraînés par le vilebrequin de façon que chaque came ouvre sa soupape une fois au cours du cycle à quatre temps du moteur. La bougie d'allumage (H) fournit l'étincelle qui enflamme au moment voulu le mélange air-essence.

Cycle de combustion dans un moteur à essence.



utilisés principalement comme substituts de l'essence ou comme additifs. Ces similitudes ne doivent cependant pas masquer les différences qui existent entre les alcools et l'essence. Ces différences sont plus apparentes lorsque les alcools sont utilisés à l'état pur dans les moteurs.

Pouvoir calorifique

L'une des propriétés les plus importantes de tout carburant est la quantité d'énergie que l'on peut en tirer. Le pouvoir calorifique des carburants alcoolisés est inférieur à celui de l'essence, ce qui signifie qu'il faut employer davantage d'alcool dans un moteur à essence afin d'obtenir une quantité égale d'énergie. Dans un moteur qui fonctionne à l'alcool, on doit régler le carburateur et la pompe d'alimentation afin d'augmenter le débit du carburant livré au moteur, et le véhicule doit être équipé d'un réservoir de plus grandes dimensions.

L'utilisation des mélanges alcool-essence dans un moteur ordinaire à essence donne toutefois un rendement plus élevé. Cette augmentation du rendement compense en partie, voire en totalité, la perte de pouvoir calorifique. La plupart des mélanges courants (jusqu'à 10 % d'éthanol ou 5 % de méthanol) ne nécessitent aucune modification du carburateur ou de la pompe à carburant.

Richesse du mélange air-carburant

Pour être complète, la combustion d'un carburant nécessite une certaine quantité d'air. Le rapport idéal de la quantité d'air par rapport à la quantité de carburant est appelé rapport stoechiométrique. Les rapports stoechiométriques des alcools sont inférieurs à celui de l'essence; en d'autres mots, une quantité moindre d'air est requise pour assurer la combustion d'une quantité donnée de carburant. Cela signifie également que, dans le cas des alcools purs, les jets de carburant doivent être réglés de façon à contenir une plus grande quantité de carburant pour une quantité donnée d'air. Quant aux mélanges, on peut les employer dans les moteurs actuels sans devoir modifier les jets de carburant, car le rapport stoechiométrique de ces mélanges est à peine différent de celui de l'essence.

Volatilité

La volatilité d'un carburant indique la facilité avec laquelle il peut être vaporisé. L'essence est un mélange de nombreuses substances moléculaires dont les points d'ébullition sont compris entre 25 °C et 220 °C. À la différence de l'essence, un alcool est composé de molécules semblables et ne possède par conséquent qu'un seul point d'ébullition. Comme les points d'ébullition de l'éthanol et du méthanol sont plus élevés que le point d'ébullition le plus bas de l'essence, les alcools ne sont pas aussi volatils que l'essence à basse température, et le démarrage à froid peut présenter un problème lorsque le moteur fonctionne à l'alcool pur.

Chaleur de vaporisation

Lorsqu'un liquide atteint son point d'ébullition, on doit lui fournir une certaine quantité de chaleur additionnelle — la « chaleur latente de vaporisation » — pour qu'il passe à l'état gazeux. La chaleur de vaporisation des alcools est plus élevée que celle de l'essence, ce qui signifie qu'un moteur à alcool atteint des températures moins élevées qu'un moteur à essence. Bien que cela puisse représenter un avantage (par exemple, le moteur n'a pas besoin de ventilateur de refroidissement), cela contribue aussi aux problèmes de démarrage à froid.

Indice d'octane

Les alcools ont des indices d'octane plus élevés que ceux de l'essence. Comme l'explique l'encadré ci-contre, l'indice d'octane a des conséquences sur la conception et le fonctionnement des moteurs.

Pouvoir corrosif

Les alcools sont plus corrosifs que l'essence et ils corrodent certains métaux comme le zinc, le plomb, le magnésium et l'aluminium. Également, le méthanol est plus corrosif que l'éthanol; c'est d'ailleurs un solvant puissant qui provoque le ramollissement de certains

INDICE D'OCTANE ET CARBURANTS ALCOOLISÉS

L'indice d'octane d'un carburant indique son degré de résistance à l'allumage prématuré. La compression d'un carburant dégage de la chaleur. Dans un moteur à allumage par étincelle, un mélange air-carburant suffisamment comprimé s'allumera dans le cylindre avant que la bougie n'ait livré son étincelle. Comme un tel allumage prématuré peut causer un cognement et endommager le moteur, un indice d'octane élevé est donc une caractéristique souhaitable des carburants.

L'indice d'octane est l'un des facteurs dont les raffineurs doivent tenir compte lorsqu'ils mélangent les diverses fractions pétrolières afin de produire de l'essence. La production de carburants à indice d'octane élevé coûte plus cher, car il faut modifier certains procédés de raffinage en vue d'accroître l'indice d'octane d'une fraction donnée. Cela a généralement pour effet de réduire la production de cette fraction. Il s'ensuit que les procédés donnant des fractions pour essence à indice d'octane élevé doivent être précisément équilibrés avec tous les autres procédés de raffinage. En définitive, le raffineur doit produire un carburant ayant un indice d'octane acceptable, et ce, sans fraction résiduelle et au plus bas coût possible.

Les raffineurs ont tenté de régler ce problème en fabriquant de l'essence à faible indice d'octane et en lui ajoutant des composés de plomb, lesquels augmentent l'indice d'octane. Ces composés de plomb sont toutefois très toxiques, et les règlements actuels sur la protection de l'environnement exigent l'élimination graduelle du plomb contenu dans l'essence vendue au Canada. Mais éliminer le plomb de l'essence ordinaire revient à réduire l'indice d'octane jusqu'à 8 points, ce qui rend l'essence inacceptable pour la plupart des moteurs. Les raffineurs doivent donc trouver d'autres moyens d'augmenter l'indice d'octane de l'essence.

Les alcools ont des indices d'octane élevés. En ajoutant de l'alcool à l'essence, on obtient un mélange carburant dont l'indice d'octane est plus élevé que celui de l'essence ordinaire. Avec des mélanges alcool-essence, les raffineurs pourraient obtenir les indices d'octane désirés, et ce, de manière efficace et acceptable pour l'environnement.

plastiques. Ce pouvoir corrosif ne constitue pas un problème en autant que l'on s'assure que les pièces d'un moteur à alcool ne contiennent aucun matériau attaquable par l'alcool. La compatibilité des matériaux ne pose pas de problème pour la plupart des mélanges alcool-essence.

Gaz d'échappement

La combustion des alcools dégage moins de polluants que celle des hydrocarbures. De plus, elle produit moins de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote que la combustion de l'essence. Il semble également que, dans la plupart des véhicules, les mélanges alcool-essence dégagent beaucoup moins de polluants. Les gaz dégagés par la combustion du méthanol ont une réactivité photochimique inférieure à celle des produits de combustion de l'essence. La combustion des alcools donne plus d'aldéhydes, mais ces émanations peuvent toutefois être réduites à l'aide de dispositifs anti-pollution, tels les convertisseurs catalytiques.

Alcools purs

La combustion des alcools purs peut avoir lieu dans les moteurs à essence uniquement s'ils sont modifiés de la manière précédemment décrite. Utilisés dans des moteurs modifiés en conséquence, les alcools sont des carburants puissants et à rendement élevé.

Les moteurs à alcool sont plus puissants que les moteurs à essence pour plusieurs raisons. Les alcools ont des indices d'octane supérieurs à ceux de l'essence, ce qui autorise des taux de compression plus élevés et permet donc

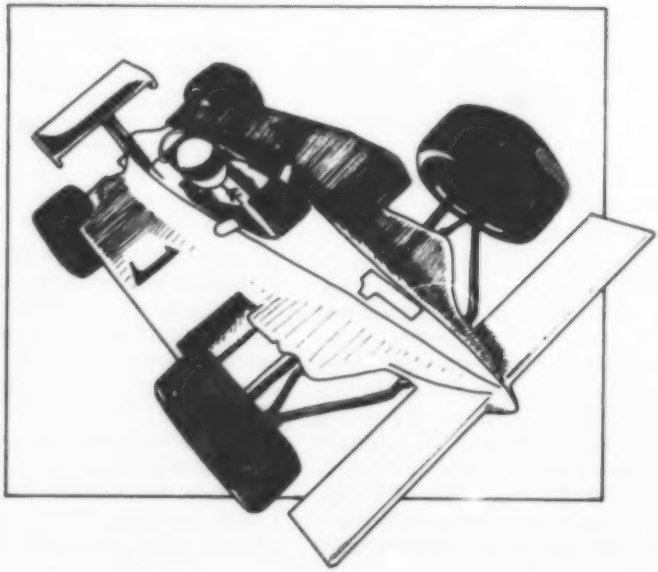
d'obtenir davantage de puissance pour une quantité donnée de carburant. De plus, les moteurs à alcool peuvent utiliser un mélange carburant plus dense. Comme les alcools ont des températures de vaporisation plus élevés que ceux de l'essence, leur vaporisation soutire davantage de chaleur du moteur et ce dernier s'en trouve ainsi refroidi. Par ailleurs, le volume occupé par un gaz à une pression donnée est directement proportionnel à la température, ce qui signifie que le mélange air-carburant est plus dense dans un moteur à alcool que dans un moteur à essence. Si le mélange est plus dense, une quantité plus grande de carburant est allumée à chaque temps du moteur, lequel fournit ainsi une plus grande puissance.

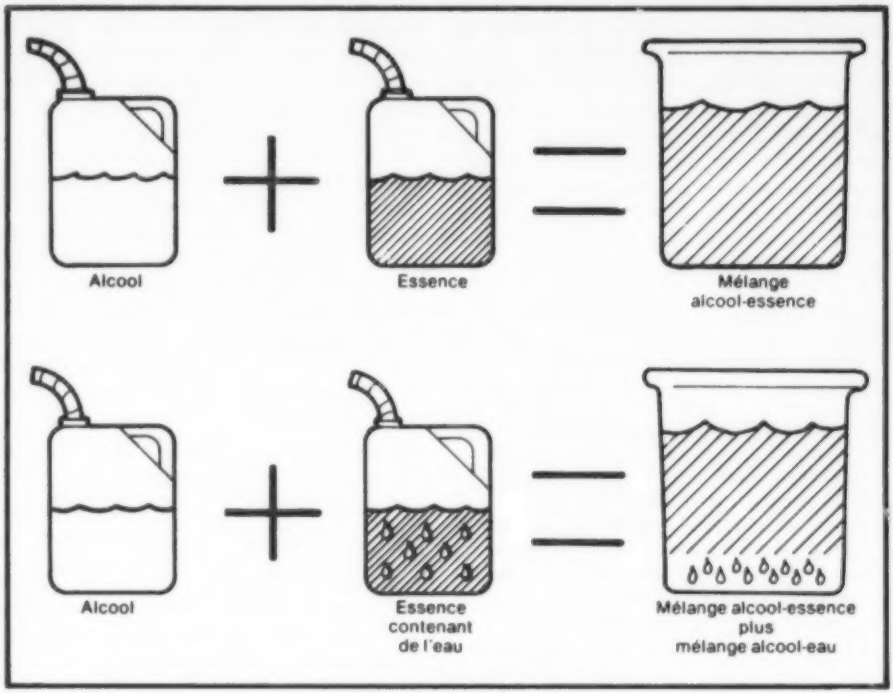
Bien sûr, l'emploi des alcools présente quelques inconvénients. Les propriétés corrosives des alcools (en particulier le méthanol) peuvent accélérer l'usure du moteur. On croit que l'usure est le résultat de la corrosion causée par les acides lors du démarrage à froid et lors du refroidissement du moteur une fois le contact coupé. Les gaz emprisonnés dans le cylindre réagissent alors avec l'eau condensée. L'usure est aussi attribuable à une mauvaise lubrification due à la présence de méthanol liquide non brûlé. L'usure ne présente toutefois pas un grave problème. Le réchauffement rapide du moteur peut prévenir la formation d'acides; en outre, de nouvelles huiles moteurs sont actuellement mises au point afin d'améliorer la lubrification.

Cependant, l'utilisation des alcools purs comme carburants se heurte actuellement à un inconvénient de taille: il faut modifier les moteurs pour que ceux-ci puissent brûler les alcools. Un moteur conçu pour brûler des alcools ne peut pas brûler de l'essence. En outre, le distribution limitée des alcools peut donner lieu à des problèmes de ravitaillement. Les propriétaires des stations-service seront peu disposés à modifier leurs pompes pour vendre des carburants alcoolisés tant qu'il n'y aura pas un nombre suffisant de véhicules à alcool.

Afin d'échapper à ce cercle vicieux, il y aurait d'abord lieu d'introduire les alcools purs

Le méthanol est un carburant populaire pour les voitures de course depuis plusieurs années.





Séparation de phase.

dans les parcs de véhicules (taxis, autobus et véhicules gouvernementaux), lesquels possèdent leurs propres systèmes de ravitaillement. Une autre façon de contourner le problème serait d'utiliser les mélanges alcool-essence.

Les mélanges

Depuis plus de 50 ans, on emploie avec succès dans les moteurs à essence des mélanges (communément appelés « gasohol ») qui contiennent de l'essence et jusqu'à 10 % d'éthanol. Quant au méthanol, un moteur à essence ordinaire peut habituellement en tolérer une quantité moindre, jusqu'à 5 % environ. Les mélanges méthanol-essence contiennent souvent des additifs spéciaux appelés « cosolvants », lesquels empêchent le phénomène dit de « séparation de phase ».

La séparation de phase peut se produire s'il y a de l'eau dans l'essence à laquelle on ajoute l'alcool. Les alcools se mélangent à l'essence, mais ils se mélangent encore plus facilement avec l'eau. S'il y a de l'eau dans l'essence, une partie de l'alcool se mélangera avec l'eau plutôt qu'avec l'essence. On obtient alors un carburant divisé en deux « phases » : alcool-essence et alcool-eau. La séparation de phase peut accroître les problèmes de corrosion et nuire au bon fonctionnement du moteur.

Les mélanges éthanol-essence tolèrent, sans se séparer, les petites quantités d'eau que l'on retrouve habituellement dans les réservoirs d'essence et les canalisations. Par contre, le méthanol a une faible tolérance à l'eau, mais en autant que les mélanges au méthanol contiennent les cosolvants appropriés, il n'y aura pas de séparation de phase dans des conditions normales.

Le principal avantage des mélanges alcoolisés est de prolonger les réserves d'essence sans nécessiter la modification des véhicules

existants et des réseaux actuels de distribution des carburants. Au Canada, l'emploi du méthanol dans l'essence nous permettrait d'utiliser nos vastes réserves de gaz naturel. Nous pourrions ainsi économiser nos réserves décroissantes de pétrole. On pourrait également utiliser des produits forestiers ou agricoles pour produire le méthanol ou l'éthanol destiné aux mélanges, ce qui contribuerait à la création d'emplois dans les régions éloignées des sources habituelles d'énergie.

LES COSOLVANTS

Comme il est presque impossible d'éviter la présence d'une certaine quantité d'eau dans les canalisations et le matériel de distribution du carburant, on doit ajouter des cosolvants aux mélanges méthanol-essence afin d'empêcher la séparation de phase. Comme cosolvants, on utilise habituellement l'isobutanol, le butanol, le butanol tertiaire, l'isopropanol et l'éthanol.

À l'heure actuelle, les cosolvants sont obtenus par des procédés pétrochimiques, mais les chercheurs tentent de trouver des moyens de produire de façon économique et concurrentielle du butanol et de l'éthanol par fermentation. On peut également coproduire des alcools supérieurs avec le méthanol, à partir du gaz de synthèse tiré du gaz naturel, du charbon ou de la biomasse. La coproduction coûte moins cher que la production séparée et donne un rendement supérieur.

Plusieurs mélanges méthanol-cosolvant-essence sont actuellement sur le marché au Canada, aux États-Unis et en Europe. Les mélanges qui ont donné de bons résultats au Canada, lors d'essais ou de leur utilisation *commerciale, sont composés comme suit:* 5 % de méthanol, 3 % d'éthanol et 92 % d'essence, ainsi que 4,75 % de méthanol, 4,75 % d'isobutanol et 90,5 % d'essence.

Les mélanges alcoolisés offrent également d'autres avantages: leur combustion dégage de faibles concentrations de polluants et ils ont des indices d'octane élevés. Leurs produits de combustion contiennent moins d'hydrocarbures et moins de monoxyde de carbone que ceux de l'essence ordinaire. La réduction est proportionnelle à la quantité d'alcool présente dans le mélange. De plus, les alcools ont des indices d'octane élevés. Leur ajout à l'essence donne un carburant dont l'indice d'octane est supérieur à celui de l'essence.

Des mélanges à teneur plus élevée en alcool (par exemple, de l'essence contenant 20 % d'éthanol ou 15 % de méthanol) sont actuellement utilisés ou font l'objet d'essais dans d'autres pays. Ces concentrations plus élevées d'alcools nécessitent toutefois certaines modifications au moteur. L'utilisation de ces mélanges et des alcools purs est commode seulement dans les pays où l'on peut se les procurer aisément (comme au Brésil, où toute l'essence vendue contient 20 % d'éthanol), ou dans le cas des parcs de véhicules qui possèdent leurs propres installations de ravitaillement.

Recherche sur les moteurs à alcool

À mesure que l'intérêt à l'égard des alcools croît partout dans le monde, les chercheurs tentent de mettre au point des moteurs qui tireront profit de leurs propriétés (puissance élevée, indice d'octane élevé) tout en n'étant pas pénalisés par leurs caractéristiques indésirables (faible pouvoir calorifique, faible volatilité). Voici quelques-uns de ces secteurs de recherche.

Amélioration du démarrage par temps froid

Les alcools sont moins volatils que l'essence à faible température et il faut les réchauffer pour qu'ils puissent se vaporiser. L'une des méthodes envisagées pour améliorer le démarrage par temps froid consiste à injecter dans le moteur un carburant plus volatil et d'allumage plus facile, tel l'essence ou le propane, grâce à un système auxiliaire. Une autre méthode consiste à atomiser (c'est-à-dire à vaporiser en un très fin brouillard) l'alcool avant son entrée dans le cylindre. On peut également utiliser un élément chauffant électrique afin de préchauffer le carburant.

Moteurs polycarburants

Les moteurs polycarburants sont conçus de façon à fonctionner au méthanol pur, à l'essence pure ou avec un mélange de

méthanol et d'essence. On prévoit que les alcools perceront graduellement dans le secteur des transports. Il y aura donc une période de transition pendant laquelle les alcools seront offerts seulement dans certaines stations-service. Les moteurs polycarburants sur lesquels travaillent actuellement les chercheurs sont équipés de régulateurs à microprocesseur qui dosent la composition du carburant et règlent l'avance à l'allumage ainsi que les carburateurs ou les injecteurs, selon le type de carburant utilisé. Avec de tels moteurs, les automobilistes pourront faire le plein peu importe ce qui est vendu à la pompe.

Les alcools dans les moteurs diesel

Par leurs propriétés, les alcools ressemblent plus à l'essence qu'au carburant diesel. Il est donc plus facile de les utiliser comme substituts de l'essence. Les carburants diesel représentent toutefois environ 16 % de tous les carburants consommés au Canada et cette proportion ne cesse d'augmenter. Par ailleurs, les moteurs diesel sont une importante source de pollution atmosphérique. C'est pourquoi l'emploi des alcools comme additifs ou comme substitut du carburant diesel suscite un intérêt considérable.

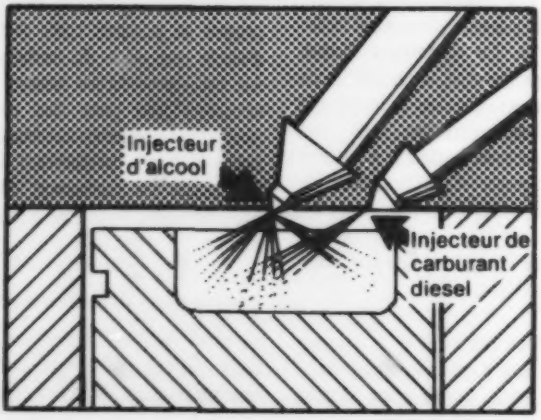
Dans un moteur à essence, le carburant est allumé dans chaque cylindre par une bougie d'allumage. Afin d'empêcher le cognement du moteur, le carburant ne doit pas s'allumer tant que la bougie n'a livré son étincelle. Plus un carburant résiste à l'auto-allumage (c'est-à-dire plus son indice d'octane est élevé), mieux il se comportera dans ce type de moteur. À cet égard, les alcools ont un bon rendement à cause de leurs indices d'octane élevés.

Par contre, un moteur diesel fonctionne selon un principe complètement différent. Ne disposant pas de bougies d'allumage, les moteurs diesel utilisent un combustible prompt à l'auto-allumage et dont les propriétés sont très différentes de celles de l'essence. Dans un moteur diesel, le taux de compression est beaucoup plus élevé que dans un moteur à essence. Plus un gaz est comprimé, plus il dégage de la chaleur. Par conséquent, dans le moteur diesel, l'air comprimé atteint des températures suffisamment élevées pour allumer le combustible injecté.

Comme les alcools ont une forte tendance à résister à l'auto-allumage, ils ne constituent pas de bons substituts du carburant diesel. Ils peuvent toutefois être utilisés dans ce type de moteur à condition d'adapter soit le moteur au carburant, soit le carburant au moteur.

- Dans les moteurs à allumage pilote, une petite quantité de carburant diesel est injectée avec l'alcool. Le carburant diesel s'allume, ce qui provoque l'allumage de l'alcool.

Allumage du carburant dans un moteur à allumage pilote.



- Dans une autre variante de l'allumage pilote, l'alcool est mélangé à l'air d'admission, le mélange air-carburant est comprimé et le carburant diesel est ensuite injecté afin d'allumer le mélange. Cette méthode est moins complexe que l'allumage pilote direct, mais la proportion d'alcool qui peut être utilisée est limitée (40 à 50 % au maximum). Ce type de moteur consomme donc une quantité appréciable de carburant diesel.
- La société Detroit Diesel Allison a mis au point un « moteur à deux temps » pouvant fonctionner au méthanol pur. Le moteur emploie un procédé de « rétention » par lequel une partie des gaz d'échappement chauds sont retenus dans le cylindre, ce qui maintient une température suffisamment élevée dans le cylindre pour amorcer l'allumage du méthanol. Si cette température n'est pas suffisamment élevée, des bougies de préchauffage sont mises en marche afin de maintenir la température du cylindre. L'utilisation conjointe du procédé de rétention et des bougies de préchauffage garde donc le cylindre à une température suffisamment élevée pour permettre l'auto-allumage du méthanol.
- Au lieu d'adapter le moteur au carburant, il est possible d'adapter les carburants alcoolisés aux moteurs diesel en ajoutant des agents d'amélioration de l'indice de cétane. (L'indice de cétane d'un carburant est fonction du temps qui s'écoule entre l'injection du carburant dans le cylindre et son allumage. Plus l'indice de cétane est élevé, plus la période précédant l'allumage est courte. Le carburant diesel, prompt à l'auto-allumage, a un indice de cétane élevé, alors que les alcools, qui résistent à l'auto-allumage, ont des indices de cétane très faibles.) À l'heure actuelle, les agents d'amélioration de l'indice de cétane coûtent cher, mais les chercheurs poursuivent leurs travaux afin d'en réduire le coût et d'en accroître la sécurité d'utilisation.

Toutes ces méthodes reviennent à adapter les alcools aux moteurs à allumage par compression, ou vice versa. Comme les alcools conviennent de par leur nature à l'allumage par étincelle, une autre méthode consiste donc à convertir les moteurs diesel en moteurs à allumage par étincelle, lorsque cela est faisable.

Enfin, les chercheurs étudient, au Canada et ailleurs, des mélanges de carburants diesel et de méthanol qui pourraient être utilisés dans les moteurs diesel non modifiés. Le mélange de ces deux combustibles est compliqué du fait que le méthanol ne se mélange pas avec le carburant diesel comme il le fait avec l'essence; il forme plutôt une émulsion. Afin de stabiliser l'émulsion, on doit ajouter des additifs appelés émulsifiants ou agents tensio-actifs.

Les essais réalisés sur les émulsions d'éthanol et de méthanol avec du carburant diesel ont montré qu'elles n'étaient pas encore au point et qu'il fallait poursuivre les travaux de recherche avant de les mettre sur le marché. Il n'est pas nécessaire de modifier le système d'alimentation du véhicule, mais il faut par contre ajouter aux émulsions une importante quantité d'agents stabilisateurs (12 à 15 %). À l'heure actuelle, le coût élevé de ces agents rend prohibitif l'emploi des mélanges alcool-carburant diesel.

De nombreuses difficultés techniques empêchent actuellement l'emploi des mélanges alcool-diesel et le remplacement du carburant diesel par les alcools. Toutefois, de nombreux pays se préoccupent de la pollution due aux véhicules diesel lourds. À cet égard, les alcools ont un avantage marqué: leur combustion est propre et produit trois fois moins d'oxydes d'azote que celle du carburant diesel, lequel est une importante source de polluants. Ne serait-ce que pour des raisons liées à la protection de l'environnement, les travaux de recherche sur l'utilisation des alcools comme substituts du carburant diesel continueront fort probablement à s'intensifier dans le monde.

Distribution des carburants alcoolisés

Le mode de distribution des carburants alcoolisés dépend, dans une certaine mesure, de leur utilisation. Dans plusieurs provinces, les

réseaux existants de distribution conviennent très bien aux mélanges alcool-essence. Par ailleurs, il sera plus facile de distribuer les alcools purs à l'aide d'un réseau distinct.

Mais la distribution des alcools purs est confrontée à un problème majeur: la compatibilité des matériaux. Les réservoirs, les canalisations et les autres pièces d'équipement ne doivent contenir aucun matériau susceptible d'être attaqué ou corrodé par les alcools. La compatibilité des matériaux ne représente pas un problème aussi grave pour les mélanges. Toutefois, en raison de la possibilité de la séparation de phase, on doit s'assurer que les systèmes d'alimentation soient le plus sec et le plus propre possible, ce qui est réalisable sans trop de difficulté.

Alcools et essence peuvent être mélangés à la raffinerie, à la station-service ou entre les deux. Le mélange en raffinerie est rarement la meilleure solution, car les alcools sont parfois produits loin de la raffinerie. En outre, si les mélanges sont expédiés par les oléoducs existants, ils peuvent être contaminés par la rouille, la saleté et la cire présentes dans les oléoducs. L'essence n'est habituellement pas contaminée par ces substances, mais les alcools peuvent l'être.

Une autre méthode consiste à mélanger alcools et essence à la pompe. À cette fin, on doit installer des réservoirs additionnels pour les alcools et les cosolvants, ainsi qu'une pompe de mélange compatible avec les alcools et les cosolvants.

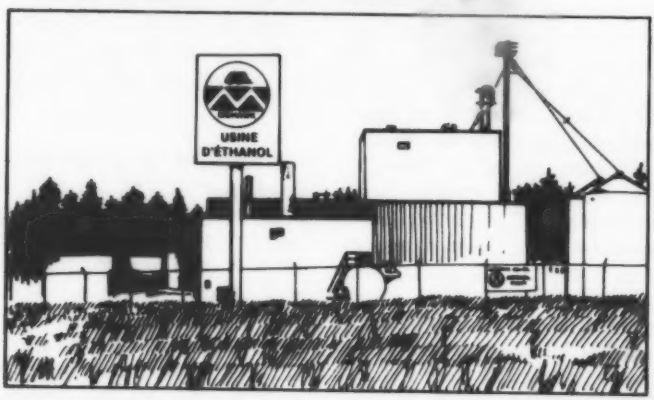
Il est également possible de combiner ces diverses méthodes pour livrer les carburants alcoolisés aux stations-service.

Les carburants alcoolisés: l'expérience canadienne

Pour bon nombre de Canadiens, les carburants alcoolisés ne sont pas totalement nouveaux. En effet, la société Mohawk Oil Co. Ltd., une société pétrolière indépendante desservant les provinces de l'Ouest, vend depuis le début des années 1980 du « gasohol E-10 » (composé de 10 % d'éthanol et 90 % d'essence) aux automobilistes du Manitoba, ainsi que de l'essence sans plomb « EM » (composée de 3 % d'éthanol, de 5 % de méthanol et de 92 % d'essence) en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique. La chaîne de station-service V-Plus met actuellement sur le marché ontarien (régions du centre et de l'ouest) une essence contenant 4,75 % de méthanol et 4,75 % d'isobutanol.

C'est à sa distillerie de Minnedosa (Manitoba) que la société Mohawk produit l'éthanol destiné au gasohol E-10. L'histoire de cette distillerie illustre bien les retombées

La première usine de fabrication d'éthanol au Canada est exploitée par la société Mohawk Oil Co. Ltd., à Minnedosa (Manitoba).



économiques que peuvent générer les carburants alcoolisés. À la fin des années 1960 et au début des années 1970, la distillerie produisait du whisky de seigle destiné au marché américain. En 1972, le marché américain pour le whisky canadien avait chuté à tel point que la distillerie dut fermer ses portes.

En 1980, Mohawk achetait la distillerie inactive et entreprit d'y produire de l'éthanol pour les mélanges avec l'essence. L'usine emploie maintenant plus de 30 personnes et fabrique quelque 6,5 millions de litres d'éthanol par an. Les retombées économiques pour la localité de Minnedosa ne s'arrêtent pas aux seuls emplois créés à la distillerie. En effet, Mohawk paie annuellement aux agriculteurs locaux environ 2 millions de dollars pour 18 000 t de maïs et d'orge de qualité industrielle. L'expérience de Minnedosa démontre clairement que les mélanges alcool-essence font plus que seulement économiser le pétrole.

La pénétration des alcools purs sur le marché est plus lente, car il faut modifier les véhicules et mettre en place des réseaux de distribution. Toutefois, les essais et les programmes de démonstration menés par les gouvernements et les sociétés privées indiquent que le méthanol pur peut être utilisé dans les conditions climatiques particulières du Canada.

Le Canada n'est pas le seul pays intéressé par les carburants alcoolisés. Comme le montre le chapitre suivant, les alcools propulsent des automobiles dans presque tous les pays.

LES CARBURANTS ALCOOLISÉS DANS LE MONDE

Dans de nombreuses parties du monde, les automobilistes sont de plus en plus familiers avec les stations-service qui vendent des carburants alcoolisés. Et cela est particulièrement vrai au Brésil, pays qui utilise depuis longtemps ces carburants.

Brésil

Le Brésil est un chef de file mondial dans l'utilisation de l'éthanol comme carburant. L'éthanol produit par la fermentation de la canne à sucre représente plus de 10 % de l'énergie consommée par le secteur des transports dans ce pays.

L'utilisation de l'éthanol au Brésil remonte à 1931. Le gouvernement d'alors exigea que l'on ajoute 5 % d'éthanol à l'essence importée, car il voulait ainsi stabiliser l'industrie sucrière locale et enrayer la migration vers les centres urbains. L'utilisation généralisée des mélanges contenant de 2 à 5 % d'éthanol débuta après la Seconde Guerre mondiale, et la crise pétrolière qui survint au milieu des années 1970 poussa le gouvernement brésilien à mettre sur pied un programme national des carburants alcoolisés, en coopération avec l'industrie privée.

Toute l'essence vendue au Brésil contient environ 20 % d'éthanol. On compte également au Brésil environ 1 million et quart d'automobiles qui roulent à l'éthanol « pur » (mélange carburant composé à 96 % d'éthanol et à 4 % d'eau par volume), soit 10 % des voitures particulières. À l'heure actuelle, plus de 90 % des véhicules neufs fabriqués au Brésil sont équipés de moteurs conçus pour fonctionner à l'éthanol pur. Ces véhicules sont également équipés d'un système auxiliaire de démarrage à froid à l'essence et ils sont munis d'un certain nombre d'autres modifications.

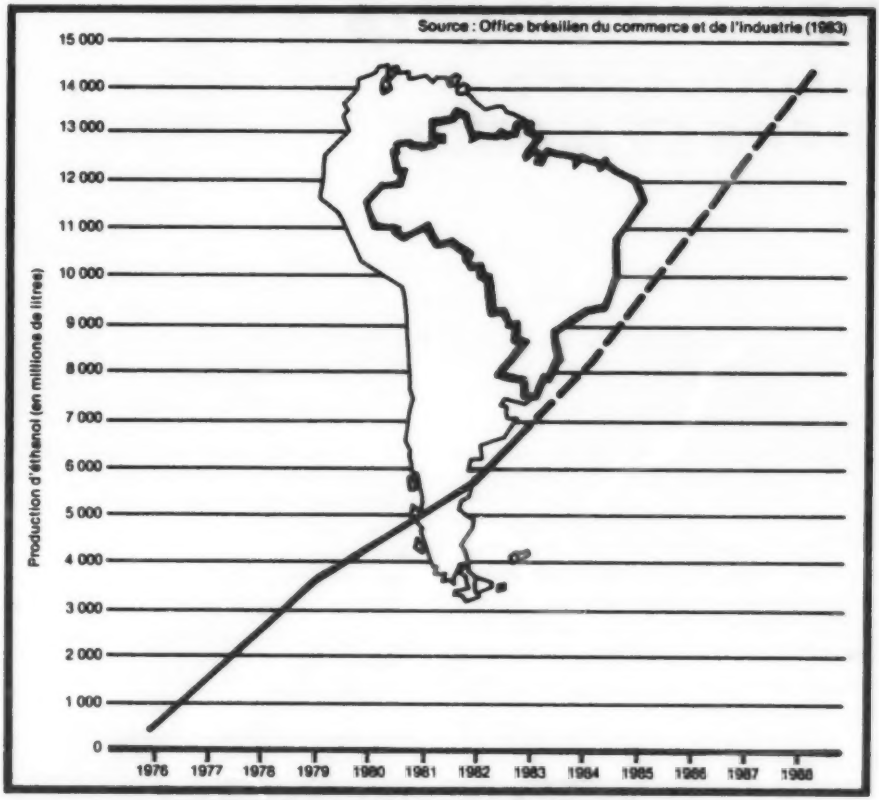
Le Brésil envisage maintenant d'utiliser l'éthanol dans les moteurs diesel. Les chercheurs ont mis au point un moteur éthanol-diesel pour tracteurs, et l'on prévoit que ce sera le premier moteur de ce type produit à l'échelle commerciale au monde. Ce moteur est muni de systèmes d'injection séparés pour l'alcool et le carburant diesel et il sera utilisé dans l'industrie sucrière et dans la fabrication des alcools.

Le Brésil a le plus important programme au monde en matière de carburants alcoolisés, mais ce n'est pas le seul pays engagé dans cette voie. De nombreux autres pays utilisent en effet des mélanges carburants contenant du méthanol ou de l'éthanol.

États-Unis

Le gasohol, mélange contenant de l'essence et 10 % d'éthanol, a été commercialisé dans plusieurs parties des États-Unis au cours des années 1930. Depuis quelques années, on le retrouve de nouveau dans un certain nombre d'États. En 1984, la production américaine d'éthanol carburant se chiffrait à quelque 2 milliards de litres et provenait principalement du maïs. Les mélanges d'éthanol et d'essence représentent actuellement environ 5 % du marché américain de l'essence.

Un certain nombre de mélanges au méthanol ont également été commercialisés aux États-Unis. L'Environmental Protection Agency (EPA), qui réglemente l'ajout des



Production d'éthanol au Brésil. La production d'éthanol a augmenté de façon soutenue depuis la mise en place du programme brésilien des carburants alcoolisés, vers le milieu des années 1970.

alcools dans l'essence sans plomb, a accordé des autorisations à plusieurs sociétés, dont ARCO (pour son mélange « Oxinol » composé de 4,75 % de méthanol et de 4,75 % d'alcool butylique tertiaire ajoutés à l'essence) et Dupont (pour un mélange contenant 5 % de méthanol et 2,5 % de coolvants).

On note aux États-Unis un vif intérêt dans l'utilisation du méthanol par et un certain nombre d'essais sur le terrain sont actuellement en cours. L'État de la Californie est notamment intéressé par l'utilisation possible des véhicules au méthanol afin de réduire la pollution atmosphérique en milieu urbain. Dans le cadre d'un programme de démonstration mis sur pied par cet État, divers organismes du gouvernement utilisent quelque 500 Ford Escort roulant au méthanol. Le secteur privé est également intéressé par le méthanol. Par exemple, la Bank of America a converti à ce carburant presque tout son parc de véhicules en Californie.

Europe

République fédérale d'Allemagne

La RFA est à la fine pointe des recherches sur le méthanol et son utilisation comme carburant. Le gouvernement autorise les mélanges contenant 3 % de méthanol et 2 % d'alcool butylique tertiaire dans l'essence, et ces mélanges représentent environ 70 % du marché de l'essence. La pro-

portion de méthanol dans l'essence pourrait augmenter à 5 % (avec 5 % de cosolvants). La plupart des moteurs sont fabriqués de façon à tolérer au moins 15 % de méthanol dans les mélanges. D'ailleurs, les fabricants allemands d'automobiles sont à l'avant-garde des travaux portant sur la conception des moteurs à alcool.

Autriche

Des mélanges contenant 3 % de méthanol, 2 % d'alcool butylique tertiaire et 5 % d'éther méthyle 3-butylique (MTBE) sont produits et commercialisés en Autriche. Ce pays importe également des mélanges carburants (composés de 3 % de méthanol, de 2 % d'alcool butylique tertiaire et de 95 % d'essence) de son voisin, la République fédérale d'Allemagne.

France

En France, les ventes commerciales de carburants alcoolisés sont encore faibles. Mais on trouve sur le marché des mélanges à faible concentration d'alcool (3 % de méthanol plus cosolvants). D'importants travaux de recherche sur les mélanges au méthanol et des essais sur le terrain sont actuellement en cours et les Français sont fort intéressés par la possibilité d'utiliser l'éthanol produit à partir des surplus agricoles.

Italie

Un producteur italien fabrique commercialement un carburant méthylique contenant 70 % de méthanol et 30 % d'alcools supérieurs. Ce carburant est livré à plus de 300 stations-service en Italie et est ajouté à l'essence, ce qui donne un mélange à 5 %.

D'autres pays européens (dont la Suède, la Norvège, le Danemark et les Pays-Bas) effectuent des recherches et des essais sur le terrain dans le domaine des alcools purs et des mélanges alcoolisés. Étant donné les liens étroits qui existent entre ces pays, l'introduction généralisée des carburants alcoolisés nécessitera probablement un effort concerté. Des groupes de travail de la Communauté européenne tentent de trouver des moyens d'introduire ces carburants à l'échelle de l'Europe.

Autres pays

Afrique du Sud

L'éthanol et les alcools supérieurs obtenus comme sous-produits de la fabrication des carburants synthétiques sont mélangés à l'essence, afin de donner un mélange contenant 10 % d'alcool et 90 % d'essence. Ce mélange à indice d'octane élevé est commercialisé dans une région où l'on retrouve la moitié des véhicules de l'Afrique du Sud.

Nouvelle-Zélande

En plus des travaux de pointe relatifs au procédé de fabrication de l'essence à partir du méthanol, décrit précédemment, la Nouvelle-Zélande a réalisé d'importants programmes d'essais et de démonstration des alcools purs et des mélanges alcool-essence.

Plusieurs pays n'en sont pas encore à l'utilisation commerciale des carburants alcoolisés, mais ils effectuent néanmoins des recherches et des essais en ce sens. L'Australie, l'Inde, le Japon, les Philippines et la Thaïlande sont quelques-uns des nombreux pays intéressés par ces carburants. Au cours des prochaines années, de nombreux autres pays commenceront fort probablement à introduire les alcools sur leurs marchés des carburants.

L'AVENIR DES CARBURANTS ALCOOLISÉS AU CANADA

Quel est l'avenir des carburants alcoolisés au Canada? La réponse à cette question est en grande partie dictée par les impératifs économiques. L'aspect technique ne pose pas de problèmes majeurs. En effet, nous utilisons déjà des mélanges. De plus, les essais avec les alcools purs par des froids rigoureux et des chaleurs torrides ont donné de bons résultats.

À l'heure actuelle, les alcools purs ne sont pas en mesure de concurrencer l'essence et le carburant diesel au Canada. Les mélanges sont toutefois plus concurrentiels. C'est le méthanol qui semble actuellement le plus prometteur, en raison des réserves abondantes de matières premières dont nous disposons. En effet, nos réserves de gaz naturel nous permettraient de fabriquer suffisamment de méthanol pour tous les véhicules au Canada.

Même si un litre de méthanol coûte moins cher à produire qu'un litre d'essence, le méthanol est plus coûteux que l'essence lorsqu'il est utilisé comme carburant, en raison de son pouvoir calorifique plus faible. Des chercheurs travaillent sur cette question et tentent de trouver les moyens de réduire le coût de production du méthanol. Certains étudient la possibilité d'employer des catalyseurs afin de simplifier la production de méthanol et de convertir directement le gaz naturel en méthanol sans passer par l'étape intermédiaire de fabrication du gaz de synthèse. D'autres chercheurs étudient la possibilité de produire du méthanol à partir de matières premières composées de gaz naturel et de déchets forestiers peu coûteux.

En règle générale, la production d'éthanol est beaucoup plus coûteuse que celle de l'essence. La production d'éthanol peut néanmoins être concurrentielle dans certains cas — par exemple, certains agriculteurs pourraient fabriquer de façon rentable de l'éthanol à partir des déchets agricoles. D'ailleurs, certaines sociétés produisent à coût raisonnable de petites quantités d'éthanol destinées aux mélanges. Cependant, les coûts actuels de production, de récolte et de transport de la biomasse utilisée comme matière première (maïs, céréales, etc.) sont trop élevés pour que l'éthanol soit produit à grande échelle, ce qui serait nécessaire pour généraliser l'utilisation de l'éthanol pur.

La situation pourrait toutefois changer s'il était possible d'utiliser les vastes ressources forestières du Canada. D'importants travaux de recherche sont en cours afin de trouver des moyens économiques de convertir la cellulose en sucres et d'utiliser les matériaux résiduels après extraction de l'éthanol. Également, les chercheurs tentent de produire des charges de départ ligneuses en mettant au point des arbres hybrides pouvant croître rapidement sur les terres marginale sous-utilisées.

Même si des progrès sont réalisés d'ici peu dans les techniques de production des alcools, nous continuerons fort probablement à dépendre principalement des carburants pétroliers pour un certain temps encore. L'utilisation généralisée des alcools purs nécessiterait des modifications appropriés dans la conception et la fabrication des véhicules, ainsi que dans les réseaux de transport et de distribution des carburants. De telles modifications prendraient un certain temps et devraient être introduites graduellement afin d'éviter toute perturbation économique.

Les vastes ressources canadiennes en biomasse représentent une source potentielle d'alcools qui pourraient être utilisés dans les carburants.

L'emploi des mélanges alcool-essence ne nécessite toutefois pas de telles modifications. Pour cette raison, les mélanges représentent une voie d'avenir, car ils permettent d'utiliser des ressources abondantes (dont le gaz naturel et le bois) et de préserver une ressource qui se raréfie (le pétrole classique). Ainsi, on pourra réduire en douceur la dépendance du Canada à l'égard du pétrole. L'attrait des mélanges est encore plus grand si l'on tient compte de leurs indices d'octane élevés et de la possibilité de créer des emplois en milieu rural grâce à la production d'alcool.

Quel que soit l'avenir énergétique, les carburants alcoolisés auront assurément un rôle à y jouer. Ils intéresseront de plus en plus les automobilistes et l'industrie, pour plusieurs raisons : augmentation du prix des carburants « classiques », production plus efficace des alcools, combustion relativement propre des carburants alcoolisés.

GLOSSAIRE

Agent d'amélioration de l'indice de cétane	Additif chimique qui a pour effet d'augmenter l'indice de cétane d'un carburant diesel.
Agent d'amélioration de l'indice d'octane	Additif qui a pour effet d'augmenter l'indice d'octane d'un carburant.
Agent tensio-actif	Liquide ajouté à une émulsion afin d'empêcher la séparation des liquides.
Alcool	L'une des grandes séries de composés organiques. Certains existent à l'état naturel, mais la plupart sont synthétiques. Les alcools sont formés par le remplacement, dans une molécule d'hydrocarbure, d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène par un groupement hydroxyle.
Alcool éthylique	Voir Éthanol.
Aldéhyde	Série de composés chimiques, la plupart toxiques, formés par l'oxydation incomplète des alcools; par exemple, le formaldéhyde est fabriqué à partir du méthanol.
Alkylat	Produit du procédé de raffinage appelé alkylation; ce produit, à indice d'octane élevé, est un composant utile de l'essence.
Amidon	Hydrate de carbone inodore, sans goût et d'aspect granulaire, de formule $(C_6H_{10}O_5)x$; c'est la principale forme de stockage des hydrates de carbone dans les plantes. L'amidon peut être séparé assez facilement par des procédés aux enzymes ou à l'acide, ce qui donne des sucres fermentables utilisables pour la production d'éthanol.
Anticognement	Résistance d'un carburant au cognement (voir ce terme).
Azéotrope	Mélange de plusieurs liquides dont la composition ne change pas lors de la distillation, c.-à-d. que la vapeur résultante contient la même composition en pourcentage que le liquide de départ. Connu aussi sous le nom de mélange à point d'ébullition constant.
Bielle	Dans un moteur à piston, tige qui relie le piston au vilebrequin.
Biomasse	Matières d'origine végétale, y compris les résidus agricoles, le bois et le fumier.
Bitume	Mélange visqueux d'hydrocarbures qui existe à l'état naturel, mais n'est pas économiquement récupérable par des méthodes classiques. Désigne aussi les résidus d'hydrocarbures produits par le raffinage de certains pétroles bruts.
Bougie d'allumage	Pièce logée dans un cylindre d'un moteur à piston et munie d'une paire d'électrodes entre lesquelles jaillit une étincelle qui enflamme le carburant.
Brûlage à la torche	Opération qui consiste à brûler l'excès de gaz naturel à la sortie du puits.

Butane

Hydrocarbure gazeux, volatil et hautement inflammable, de formule C_4H_{10}, extrait du gaz naturel ou produit par craquage du pétrole. Utilisé comme agent de mélange afin d'accroître la pression de vapeur de l'essence et de faciliter le démarrage à froid. Existe sous deux formes moléculaires différentes, ou isomères: le butane normal (n-butane) dont les quatre atomes de carbone sont disposés en chaîne droite, et l'isobutane dont les quatre atomes de carbone forment une chaîne ramifiée. Le pouvoir calorifique du n-butane est plus élevé.

Butanol

Alcool incolore et relativement toxique, de formule C_4H_9OH, habituellement utilisé comme cosolvant dans les mélanges méthanol-essence. Le butanol existe sous quatre formes moléculaires, dont trois sont liquides. Le butanol ordinaire et l'isobutanol sont fabriqués à partir de gaz de pétrole, alors que le butanol secondaire est fabriqué à partir du butylène obtenu lors du craquage du pétrole. Le butanol tertiaire, lui aussi un sous-produit du pétrole, est un solide cristallin à température ambiante et sert à dénaturer les alcools.

Butanol tertiaire

Type d'alcool communément utilisé comme cosolvant dans les mélanges méthanol-essence (voir Butanol).

Carburant diesel

Mazout de haute qualité utilisé dans les moteurs à allumage par compression. Il en existe différentes qualités: l'ordinaire a un indice de cétane de 40 à 45, et le super a un indice de cétane de 45 à 50.

Carburant pur

Carburant non mélangé (peut contenir de petites quantités d'additifs destinés à faciliter le démarrage à froid et à réduire la corrosion).

Carburants classiques

Expression qui désigne les carburants liquides obtenus par raffinage du pétrole brut.

Carburants synthétiques

Combustibles liquides ou gazeux, similaires à ceux qui sont extraits du pétrole brut léger, et produits à partir de diverses substances: bitume, pétrole lourd, gaz naturel, charbon ou biomasse.

Catalyseur

Substance qui, sans subir de modification chimique, facilite une réaction chimique et permet à celle-ci d'avoir lieu même dans des conditions défavorables (par exemple, à température ou à pression plus faible qu'à l'ordinaire).

Cellulase

Enzyme dont l'action spécifique hydrolyse la cellulose en sucres simples.

Cellulose

Hydrate de carbone fibreux et complexe qui joue un rôle structural dans le tissu végétal. Cette molécule est composée d'unités de glucose reliées en chaîne et dont la formule est $(C_6H_{10}O_5)n$, où n peut prendre une valeur entre 2 000 et 4 000. C'est le composé organique le plus abondant dans la nature. La cellulose peut être brisée par hydrolyse en hydrates de carbone plus simples, tels les sucres et les amidons.

Cétane

Hydrocarbure liquide, de formule $C_{16}H_{34}$, employé comme carburant étalon pour les moteurs diesel en raison de ses excellents propriétés de combustibilité.

Chaleur de vaporisation

Quantité de chaleur nécessaire pour transformer un liquide en gaz sans changement de température. Aussi appelée chaleur latente de vaporisation.

Cholestérol	Hydrate de carbone complexe, de la série des alcools et de formule $C_{27}H_{45}OH$. Présent dans les tissus animaux.
Cognement	Dans un moteur à allumage par étincelle, bruit ou cliquetis qui se produit lorsque le mélange air-essence s'allume spontanément avant que la bougie n'ait livré son étincelle. Un tel auto-allumage peut endommager le moteur. On l'élimine en utilisant un carburant à indice d'octane plus élevé.
Colonne d'extraction (ou de distillation primaire)	Récipient sous pression servant à purifier le méthanol par extraction du gaz carbonique et des hydrocarbures lourds.
Colonne de rectification	Partie d'une colonne de distillation dans laquelle un alcool est graduellement purifié par contact répété du liquide descendant avec la vapeur montante.
Compatibilité des matériaux	Absence de réaction entre les carburants et les matériaux entrant dans la construction des véhicules et des organes d'alimentation en carburant, ce qui évite donc la corrosion et l'obstruction des canalisations et des pièces.
Composé organique	Substance dont les molécules contiennent des atomes de carbone disposés en chaînes ou en anneaux et auxquels sont attachés des atomes d'hydrogène. Les composés organiques naturels sont d'origine animale ou végétale; on peut fabriquer des substances similaires en laboratoire.
Convertisseur	Dispositif de traitement servant à modifier la proportion de monoxyde de carbone dans le gaz de synthèse obtenu à partir du charbon, afin d'atteindre la proportion optimale pour la production de méthanol.
Convertisseur catalytique	Dispositif équipant le système d'échappement des véhicules afin de réduire les concentrations d'hydrocarbures, de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azotes dans les gaz d'échappement. On peut utiliser à cette fin divers métaux et alliages, dont le platine, le cuivre et le nickel. Comme le plomb tétraéthyle vicie le catalyseur, il faut utiliser une essence sans plomb avec ce type de convertisseur.
Corrosion	Érosion d'une surface métallique causée par la réaction chimique du métal et des substances avec lesquelles il est en contact.
Cosolvant	Composé chimique possédant de bonnes propriétés solvantes qui est ajouté aux mélanges méthanol-essence afin d'empêcher la séparation de phase, réduire la corrosion et améliorer la lubrification.
Craquage à la vapeur	*Voir* Explosion à la vapeur.
Déchets agricoles	Biomasse sous forme de résidus agricoles (par exemple, tiges de maïs), de surplus ou de récoltes endommagées, qui peuvent servir de charges de départ pour la production d'éthanol.
Déchets municipaux	Désigne la biomasse contenue dans les déchets urbains et les eaux usées. Cette biomasse peut servir de charge de départ pour la fabrication de combustibles par gazéification ou décomposition anaérobie.
Dénaturer	Action d'ajouter des substances chimiques toxiques ou délétères à l'éthanol afin de le rendre impropre à la consommation.

Distillation	Procédé qui consiste à chauffer un liquide jusqu'à son point d'ébullition et à recueillir et condenser la vapeur ainsi produite.
Distillation destructive	Décomposition chimique du bois ou d'autres matières organiques solides par chauffage en l'absence d'air. Ancienne méthode de production du méthanol qui n'est plus utilisée dans l'industrie.
Émulsifiant	*Voir* Agent tensio-actif.
Émulsion	Mélange laiteux de deux liquides, l'un formant de fines gouttelettes dans l'autre.
Enzyme	Type de protéine présent dans la matière organique et qui joue le rôle de catalyseur dans une réaction chimique qui a lieu dans les cellules; chaque enzyme est associé à une réaction particulière.
Essence	Mélange raffiné d'hydrocarbures liquides et volatils tirés du pétrole, et dont l'indice d'octane est compris entre 60 et 100; utilisé comme carburant dans les moteurs à allumage par étincelle.
Essence sans plomb	Mélange d'essence contenant suffisamment d'hydrocarbures à indice d'octane élevé de sorte que l'ajout d'additifs au plomb n'est pas nécessaire.
Éthanol	Liquide incolore, volatil et inflammable, de formule C_2H_5OH. Utilisé comme combustible, comme réactif dans de nombreux procédés industriels, ainsi que dans les boissons alcoolisées.
Éther méthyle 3-butylique	*Voir* MTBE.
Éthylène	Gaz incolore et inflammable, de formule C_2H_4, appartenant au groupe des oléfines. Sert de charge de départ pour la fabrication de l'éthanol.
Explosion à la vapeur	Méthode de prétraitement du bois destinée à faciliter l'hydrolyse aux enzymes. Dans ce procédé, on injecte de la vapeur sous haute pression afin d'ouvrir le tissu ligneux et ainsi faciliter la pénétration des enzymes.
Fermentation	Procédé de séparation des sucres en éthanol et en gaz carbonique sous l'action de levures ou de bactéries.
Force de rotation	Force produite par le mouvement rapide d'un corps autour d'un axe.
Gasohol	Mélange carburant contenant de l'essence et 10 % d'éthanol.
Gaz de pétrole liquéfié	Groupe d'hydrocarbures gazeux, principalement du butane et du propane, produit lors de l'extraction de pétrole brut et de gaz naturel; c'est aussi un sous-produit du raffinage. Ces gaz sont comprimés sous forme liquide afin d'en faciliter le stockage, le transport ainsi que l'emploi comme combustibles.
Gaz de synthèse	Mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène utilisé comme charge de départ pour la fabrication des carburants synthétiques.

Gaz naturel	Mélange inflammable d'hydrocarbures gazeux, principalement du méthane. Existe à l'état naturel et est habituellement associé au pétrole brut.
Gazéification	Production de méthane à partir du charbon ou de biomasse; les charges de départ sont amenées à de hautes températures, sous haute pression, en présence d'une faible quantité d'oxygène.
GPL	*Voir* Gaz de pétrole liquéfié.
Groupement hydroxyle	Partie de molécule composée d'un atome d'oxygène lié à un atome d'hydrogène. C'est un composant caractéristique des alcools.
Hémicellulose	Hydrate de carbone présent dans les parois des cellules végétales. Similaire à la cellulose, mais avec moins d'unités moléculaires; c'est un genre de demi-cellulose. Présente en proportion élevée dans les déchets agricoles.
Hexose	Tout monosaccharide contenant six atomes de carbone dans la molécule. Le glucose est un exemple d'hexose.
Hydratation	Réaction chimique dans laquelle une molécule d'eau est incorporée dans une molécule d'une autre substance.
Hydrates de carbone	Grande famille de composés chimiques contenant des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène en proportions variées. Formés de substances organiques dont les principales sont les sucres, l'amidon et la cellulose.
Hydrocarbure	Terme désignant une vaste famille de composés chimiques contenant uniquement des atomes de carbone et d'hydrogène et qui sont à la base de tous les produits pétroliers. Les hydrocarbures qui ont peu d'atomes de carbone sont gazeux et ceux qui en ont en grand nombre sont solides.
Hydrogène	Le plus simple et le plus léger des éléments. Dans sa forme moléculaire, c'est un gaz incolore, inodore et sans goût, mais on ne le retrouve pas sous cette forme dans la nature.
Hydrolyse	Réaction chimique de l'eau avec un autre composé dans laquelle les molécules de ces deux substances sont scindées et les deux parties de la molécule d'eau se combinent chacune avec une partie de la molécule de l'autre composé.
Hydrolyse à l'acide	Hydrolyse d'un hydrate de carbone en sucres fermentables par réaction avec un acide dilué (voir Hydrolyse).
Hydrolyse aux enzymes	Hydrolyse des hydrates de carbone complexes en sucres par des enzymes. Ceux-ci sont produits par des bactéries ou des moisissures (voir Hydrolyse).
Indice de cétane	Mesure du degré de combustibilité d'un carburant diesel par rapport à un mélange de n-cétane (indice de cétane = 100) et d'alphaméthylnaphtaline (indice de cétane = 0), évaluée dans un moteur étalon. Plus l'indice de cétane est élevé, plus le carburant s'enflamme rapidement. Les moteurs diesel modernes ont besoin d'un carburant dont l'indice de cétane est d'au moins 40.

Indice d'octane

Valeur arbitraire qui indique les propriétés antidétonantes d'une essence. Indique dans quelle mesure un carburant résiste à l'allumage précoce. À de l'isooctane (indice d'octane = 100), on ajoute du n-heptane (indice d'octane = 0) afin d'obtenir un mélange ayant les mêmes propriétés antidétonantes que l'essence testée. La proportion d'isooctane dans le mélange donne l'indice d'octane de l'essence. Les essences disponibles sur le marché ont habituellement un indice d'octane compris dans la fourchette de 92 à 100.

Isobutanol

Alcool à quatre atomes de carbone utilisé comme cosolvant dans les mélanges méthanol-essence (voir Butanol).

Isooctane

Hydrocarbure liquide, inflammable et incolore, de formule C_8H_{18}. Utilisé pour déterminer les caractéristiques d'allumage des différents mélanges d'essence. Dans l'isooctane, la disposition des atomes de carbone et d'hydrogène diffère légèrement de celle de l'octane.

Isopropanol

Liquide incolore de la série des alcools, de formule $(CH_3)_2CHOH$, couramment utilisé comme cosolvant dans les mélanges méthanol-essence.

Lignine

Composé organique servant de soutien au tissu végétal. Le bois est composé de 25 à 35 % de lignine. Elle retient ensemble les fibres de cellulose et entrave donc la séparation de la cellulose en sucres, lors de l'hydrolyse.

Mélange à la pompe

Mélange d'un alcool carburant avec l'essence, au point de vente.

Mélange air-carburant

Mélange de carburant et d'air fourni au moteur. En brûlant, le mélange se dilate et chasse le piston, ce qui fait fonctionner le moteur.

Mélange en raffinerie

Mélange d'un alcool carburant avec l'essence à la raffinerie, en vue de sa distribution comme mélange carburant.

Métabolisme

Modifications chimiques qui ont lieu dans les cellules des organismes vivants. C'est par ces modifications que l'énergie est fournie pour les fonctions et activités vitales, et que les nouveaux matériaux sont assimilés.

Méthane

Gaz inflammable, incolore et inodore, de formule CH_4, ce qui en fait le plus simple des hydrocarbures. C'est le principal composant du gaz naturel.

Méthanol

Liquide toxique et incolore, de formule CH_3OH, c'est l'alcool le plus simple. Aussi appelé alcool méthylique.

Monosaccharide

Sucre qui ne peut pas être décomposé par hydrolyse en sucres simples.

Monoxyde de carbone

Gaz toxique, inodore et incolore composé en parties égales de carbone et d'oxygène. Résultat de la combustion partielle (oxydation) des carburants.

Moteur à allumage par étincelle

Moteur à piston dans lequel l'étincelle servant à l'allumage du carburant est fournie par une bougie dans chaque cylindre. Les moteurs à essence sont de ce type.

Moteur à allumage pilote	Type de moteur dans lequel une petite quantité de carburant pilote-diesel sert à amorcer l'allumage du carburant alcoolisé.
Moteur à piston	Type de moteur caractérisé par le mouvement alternatif de pistons logés dans des cylindres. La plupart des automobiles sont équipées d'un moteur à piston.
MTBE	Sigle désignant un additif liquide servant à augmenter l'indice d'octane de l'essence sans plomb.
Octane	Hydrocarbure inflammable tiré du pétrole, de formule C_8H_{18}. Existe sous de nombreuses formes moléculaires ou isomériques (voir isooctane).
Oléfine	Un des groupes d'hydrocarbures synthétiques caractérisés, au point de vue chimique, par une liaison double entre deux atomes d'hydrogène, ce qui les rend très réactifs et donc très utiles dans l'industrie. L'éthylène et le propylène sont des oléfines.
Oxydes d'azote	Diverses combinaisons gazeuses d'atomes d'azote et d'oxygène produites par la combustion des carburants; on les retrouve dans les gaz d'échappement des véhicules. Ces oxydes sont habituellement désignés par le sigle NO_x. Ils sont tous toxiques, sauf le bioxyde d'azote.
Pentose	Tout monosaccharide qui contient cinq atomes de carbone dans sa molécule. Le ribose est un exemple de pentose.
Piston	Organe du moteur qui coulisse dans le cylindre sous l'effet de l'explosion du carburant.
Plateaux perforés	Plateaux insérés dans une colonne de distillation et permettant la montée des fractions gazeuses à travers les fractions liquides contenues dans les plateaux, jusqu'à ce que les fractions gazeuses se condensent.
Pouvoir calorifique	Quantité de chaleur dégagée lors de l'oxydation complète (combustion) d'une quantité donnée de combustible à pression constante. Aussi appelé chaleur de combustion.
Procédé hybride	Production de gaz de synthèse combinant le traitement du gaz naturel et celui du charbon ou de la biomasse afin de donner un rendement optimal de monoxyde de carbone et d'hydrogène, en vue de la fabrication de méthanol.
Propane	Hydrocarbure gazeux lourd, volatil et incolore, de formule C_3H_8, facilement liquéfiable à température ambiante. C'est le principal composant du gaz de pétrole liquéfié. Peut être extrait du gaz naturel et peut aussi être produit lors du raffinage.
Pyrolyse	Modification chimique sans oxydation causée par l'action de la chaleur. Provoque habituellement la rupture des molécules complexes en molécules simples, comme dans le cas de la conversion des déchets organiques en gaz combustibles.
Rapport air-carburant	Voir Richesse du mélange air-carburant.
Rapport stœchiométrique	Richesse « idéale » du mélange air-carburant pour un moteur; avec ce rapport, le carburant est complètement oxydé et il n'y pas d'air résiduel.

Réactivité photochimique	Tendance des composés chimiques à se modifier lorsqu'ils sont exposés à la lumière solaire; par exemple, les hydrocarbures et les oxydes d'azote forment des polluants secondaires lorsqu'ils sont exposés à la lumière, ce qui produit le *fumard* photochimique qui endommage la végétation et a des effets nocifs sur la santé.
Reformage à la vapeur	Production de gaz de synthèse qui consiste à faire circuler du méthane ou un autre hydrocarbure gazeux au-dessus d'un catalyseur, à des températures élevées.
Reformage catalytique à la vapeur	*Voir* Reformage à la vapeur.
Régénération	Traitement chimique d'un catalyseur épuisé visant à enlever les dépôts de carbone adhérant à sa surface. Une fois régénéré, le catalyseur peut de nouveau être utilisé.
Richesse du mélange air-carburant	Rapport de masse air/carburant requis pour assurer un allumage uniforme dans un moteur automobile.
Séparation de phase	Séparation d'un mélange alcool-essence en couches distinctes. Cette séparation est habituellement attribuable à la présence d'eau et peut être empêchée par l'ajout d'un cosolvant.
Soude caustique	Nom commun de l'hydroxyde de soude (NaOH). Alcali puissant et très corrosif, il se présente sous forme d'une substance cristalline blanche.
Sucre	Type simple d'hydrate de carbone présent dans les plantes. Peut être fermenté directement pour produire de l'éthanol (voir Hexose).
Système de carburation double	Système de carburation pouvant utiliser deux carburants différents; par exemple, méthanol et carburant diesel.
Taux de compression	Rapport entre le volume de gaz dans le cylindre avant la compression et le volume du gaz après sa pleine compression par le piston. Si le taux de compression est trop élevé, le moteur produit un cognement. Dans un moteur d'automobile moderne, le taux de compression est d'environ 9:1.
Transformation par métabolisme	Désigne les transformations opérées par le métabolisme.
Vilebrequin	Arbre principal d'un moteur à pistons qui, par l'intermédiaire des bielles, transforme le mouvement alternatif des pistons en mouvement rotatif.
Volant	Disque lourd qui absorbe et emmagasine l'énergie grâce à son inertie. Le volant compense également les fluctuations résultant des cycles irréguliers du moteur.
Volatil(e)	Qui se vaporise facilement à température relativement faible.
Volatilité	Mesure de la tendance d'un combustible à passer de l'état liquide à l'état gazeux à une température et une pression données.

Available in English under the title
FUTURE TRANSPORTATION FUELS
ALCOHOL FUELS

Energie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada